



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

RECONSTITUIÇÃO CIENTÍFICA DE ACIDENTES DE VIAÇÃO: METODOLOGIAS DE INVESTIGAÇÃO

Joaquim José Pinheiro dos Reis Aguiar

Orientador: Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz(FEUP)

Coorientador: Eng.º Paulo Lopes Pereira.....(FEUP)

Arguente: Professor Doutor Jorge Manuel Costa da Fonseca Justo(ISEP)

Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista(FEUP)

2016



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Mário Augusto Pires Vaz, pela orientação e disponibilidade sempre revelada.

Ao meu coorientador, Eng.º Paulo Lopes Pereira, pelo empenho e disponibilidade revelada desde o primeiro momento que decidimos desenvolver este estudo.

Ao Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista, diretor do Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais pelo conhecimento transmitido ao longo de todo o curso.

RESUMO

A investigação dos acidentes de viação e as suas consequências apresentam cada vez mais um exigente desafio em diferentes domínios, principalmente no que diz respeito à compreensão das suas causas e posterior aplicação de medidas de prevenção. Os prejuízos resultantes dos acidentes de viação, poderão ser quantificados ao nível material e financeiro, mas no que diz respeito ao sofrimento físico, psicológico e social que destes advêm, a sua quantificação ou qualificação já não são fáceis de materializar, o que nos poderá levar a interrogar quais as verdadeiras consequências destes fenómenos.

O objetivo da elaboração deste estudo é apresentar algumas metodologias de investigação e reconstituição, que permitam perceber de que forma o seu conhecimento contribui para a aplicação de medidas de segurança rodoviária, respondendo desta forma à questão central da investigação: - Em que medida a determinação das causas dos acidentes de viação através da reconstituição científica, contribui para a adoção de medidas de prevenção rodoviária.

Na elaboração deste estudo são apresentados dois casos práticos distintos, sendo o primeiro o resultado da elaboração de uma investigação de dois acidentes reais (colisão e atropelamento) dos quais resultaram vítimas mortais, aplicando para o efeito, métodos analíticos e computacionais que permitissem determinar as causas do acidente. No segundo caso é apresentada uma simulação computacional de um possível acidente, num cenário idêntico ao túnel do Marão e daí retirar algumas conclusões sobre as possíveis consequências e perceber de que forma a simulação computacional contribui para a aplicação de medidas de prevenção.

Através deste estudo ficou demonstrado que a aplicação de métodos analíticos e computacionais, associados ao rigoroso levantamento de dados, proporcionam ao investigador reconstituir um acidente de viação, com resultados finais cada vez mais próximos da realidade. O caso prático da simulação em túnel e autoestrada possibilitou a observação de diferentes trajetórias dos veículos intervenientes nos acidentes, levando a concluir que existem consequências distintas nos veículos envolvidos, principalmente ao nível de dissipação de energia e deformação.

Palavras-chave: Acidentes de viação, colisão; peão; reconstituição de acidentes; investigação forense.

ABSTRACT

The investigation of road accidents and their consequences, have increasingly, a very demanding challenge in different fields, especially with regard to the understanding of its causes and after the creation of measures that can prevent and warn road users. The losses resulting from traffic accidents, can be quantified in material and financial terms, but in relation to the physical, psychological and social suffering arising from road accidents, their quantification and qualification are no longer easy to materialize, which can lead us to question what the real consequences of these phenomena.

The purpose of the preparation of this study is to present some research methodologies and reconstruction of road accidents and realize how the knowledge of the causes may contribute to the implementation of road safety prevention measures, thus addressing the central issue of this research: - to what extent the determination of the causes of road accidents through scientific reconstruction contributes to the adoption of road safety measures.

To prepare this study, two different case studies are presented, the first result of the elaboration of an investigation of two real accidents (collision and run over) which resulted in fatalities. The goal was to apply analytical and computational methods, so as to determine the causes of the accident. In the second case a computer simulation is presented in a possible accident, an identical scenario to the Marão tunnel and draw some conclusions about the possible consequences and realize how computer simulation contributes to the implementation of preventive measures

Through this study it was shown that the application of analytical and computational methods, associated with rigorous data collection, provides the investigator to reconstruct a road accident, with final results ever closer to reality. On the other hand, the practical case simulation tunnel and motorway, enabled the observation of different dynamics of vehicles involved in accidents, leading to the conclusion that there are distinct consequences on the vehicles involved, especially in terms of power dissipation and deformation.

Keywords: Traffic accident, collision, pedestrian, accident reconstitution, forensic investigation;

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	2
2	Estado da Arte	4
2.1	Caracterização dos acidentes de viação quanto à natureza e utentes	4
2.1.1	Principais políticas e projetos de combate à sinistralidade na UE e Portugal.....	4
2.2	Caracterização dos acidentes de viação em Portugal	14
2.3	Enquadramento Legal e Normativo.....	21
2.3.1	Reconstituição científica dos acidentes de viação em Portugal.	23
2.4	Conhecimento Científico.....	24
2.4.1	Revisão sistemática com metodologia PRISMA	24
3	OBJETIVOS E MÉTODOS	32
3.1	Objetivos.....	32
3.2	Métodos	32
3.3	Casos práticos de Reconstituição Científica de Acidentes.....	32
3.3.1	Colisão entre veículos	33
3.3.2	Análise matemática da colisão entre dois veículos	35
3.3.3	Análise matemática das velocidades de circulação após colisão	35
3.3.4	Cálculo de velocidades antes de colisão:	37
3.3.5	Estudo da velocidade de danos (EES).....	39
3.3.6	Análise de visibilidade e reações	41
3.3.7	Análise matemática da colisão entre veículo e o peão	43
3.3.8	Análise matemática da velocidade de circulação e velocidade de impacto do peão.....	43
3.3.9	Velocidade de circulação do veículo antes da colisão	44
3.3.10	Velocidade de projeção do peão.....	44
3.3.11	Velocidade de impacto do veículo com o peão.....	46
3.4	Simulação e reconstrução científica de acidentes de viação em túneis.	47
3.4.1	Caso prático túnel do Marão	47
3.4.2	Simulação de acidente em túnel	50
4	RESULTADOS	54
4.1	Revisão sistemática de metodologia PRISMA.....	54
4.2	Análise matemática da colisão entre veículos	57
4.3	Análise matemática do atropelamento.....	58
4.4	Simulação computacional da colisão entre veículos	59
4.5	Simulação computacional do atropelamento	60
4.6	Simulação computacional do acidente no túnel	60
5	DISCUSSÃO.....	63
5.1	Pesquisa bibliográfica.....	63

5.2	Caso prático de colisão e atropelamento	63
5.3	Caso prático túnel do Marão	64
6	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	66
6.1	Conclusões.....	66
6.2	Perspetivas Futuras.....	67
7	BIBLIOGRAFIA.....	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das vítimas mortais na UE 1990-2010.....	4
Figura 2 – Evolução das vítimas mortais e feridos graves até aos 14 anos de idade.	9
Figura 3 – Meta quantitativa da ENSR	11
Figura 4 - Evolução das vítimas mortais entre 2005-2014 (ANSR 2014)	15
Figura 5 – Crimes mais relevantes contra a vida em sociedade (2013-2014) (RASI, 2014).....	18
Figura 6 – Mapeamento dos vestígios recolhidos por aparelhos aéreos não tripulados	26
Figura 7 – Imagens 3-D resultantes da deformação de veículos automóveis	26
Figura 8 – Método da reconstituição do acidente através da lesão corporal.....	29
Figura 9 – Local provável de embate da colisão.....	33
Figura 10-Radar.....	35
Figura 11-Medidor de Atrito	35
Figura 12- Acelerómetro	35
Figura 13 – Drone (Fotografia e Vídeo).....	35
Figura 14 – Drone (Fotografia e Vídeo).....	35
Figura 15 – Captura da simulação no PC-Crash onde é visível a distância entre os dois veículos a partir do momento em que conseguem se ver um ao outro.....	41
Figura 16 – Local provável de atropelamento.....	43
Figura 17 – Distância de projeção do peão	44
Figura 18- Velocidade de impacto relacionada com a posição da cabeça do peão.....	46
Figura 19- Fotografia da zona frontal do veículo 1.....	46
Figura 20- Influência da idade no risco de lesão.....	47
Figura 21- Captura da simulação em PC-Crash com barreiras rígidas 1 (são visíveis os veículos intervenientes no acidente, as barreiras rígidas do túnel e a configuração geométrica da via.)....	51
Figura 22- Captura PC-Crash com barreiras rígidas 2 (são visíveis os veículos intervenientes no acidente, as barreiras rígidas do túnel e a configuração geométrica da via).	52
Figura 23 – Captura da simulação em PC-Crash 3 (são visíveis os veículos intervenientes, as barreiras rígidas deformáveis – rails e a configuração geométrica da via).	52
Figura 24 – Captura da simulação em PC-Crash 4 (são visíveis os veículos intervenientes, as barreiras rígidas deformáveis – rails e a configuração geométrica da via).	52
Figura 25 - Diagrama de Metodologia PRISMA	54
Figura 26 – Ilustração do <i>software</i> de simulação PC-Crash do sentido e trajetória dos Veículos 1 e 2 antes da colisão.....	59
Figura 27 – Ilustração do <i>software</i> de simulação PC-Crash da posição de imobilização dos Veículos 1 e 2 depois da colisão.	60
Figura 28 – Posição de repouso do veículo e do peão (PC-Crash)	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Vítimas mortais na União Europeia 2010-2013 (ASR 2013)	6
Tabela 2 – Mortos a 30 dias no local do acidente	7
Tabela 3 – Fatores determinantes do PNPR.....	8
Tabela 4 – Validade dos títulos de condução.....	12
Tabela 5 – Valores da taxa de álcool no sangue (TAS).....	13
Tabela 6 – Evolução das vítimas e número de acidentes entre 2010-2013 (ASR 2013)	14
Tabela 7 – Evolução do tipo de acidentes entre 2010-2013 (ASR 2013)	14
Tabela 8 – Tipo de crimes mais participados em 2014.....	17
Tabela 9 – Recursos e número de artigos da pesquisa bibliográfica	25
Tabela 10 - Critério de exclusão e inclusão dos artigos da pesquisa bibliográfica.....	25
Tabela 11 – EES estatística correspondente	39
Tabela 12 – Principais acidentes em túneis nas últimas décadas (Instituto de Infraestruturas Rodoviária, I.P.).....	48
Tabela 13 – Requisitos obrigatórios em túneis com mais 3km (Adaptado do DL n.º 75/2014 de 13 de maio).....	49
Tabela 14 – Dados relativos aos veículos utilizados na simulação computacional	50
Tabela 15 – Dados relativos às vias utilizadas na simulação computacional	51
Tabela 16 – Principais objetivos e conclusão da revisão bibliográfica.....	55
Tabela 17 – Análise matemática da colisão entre veículos.....	57
Tabela 18 – Análise matemática da velocidade de circulação e velocidade de impacto do peão. 58	
Tabela 19 – Parâmetros avaliados após colisão	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Número de colisões.....	62
Gráfico 2- Valor de deformação máximo (m).....	62
Gráfico 3- Valor de deformação máximo / Energia (J).....	62
Gráfico 4- EES Global	62
Gráfico 5- Distâncias percorridas.....	62

GLOSSÁRIO

Acidente- ocorrência na via pública ou que nela tenha origem envolvendo pelo menos um veículo em movimento, do conhecimento das entidades fiscalizadoras (GNR, GNR/BT e PSP) e da qual resultem vítimas e/ou danos materiais.

Acidente com feridos graves - acidente do qual resulte pelo menos um ferido grave, não tendo ocorrido qualquer morte.

Acidente com feridos leves- acidente do qual resulte pelo menos um ferido leve e em que não se tenham registado mortos nem feridos graves.

Acidente com vítimas - acidente do qual resulte pelo menos uma vítima.

Acidente mortal - acidente do qual resulte pelo menos um morto.

Condutor - pessoa que detém o comando de um veículo ou animal na via pública.

Ferido grave- vítima de acidente cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas e que não venha a falecer nos 30 dias após o acidente.

Ferido leve- vítima de acidente que não seja considerada ferido grave e não venha a falecer nos 30 dias após o acidente.

Indicador de gravidade- $IG=100 \times M + 10 \times FG + 3 \times FL$, em que M é o número de mortos, FG o de feridos graves e FL o de feridos leves.

Índice de gravidade- Número de mortos, por 100 acidentes com vítimas.

Morto/vítima mortal (no local) - vítima cujo óbito ocorra no local do acidente ou durante o percurso até à unidade de saúde.

Morto/vítima mortal a 30 dias - vítima cujo óbito ocorra 30 dias após o acidente.

Parque automóvel segurado- número de veículos segurados, em Portugal Continental, segundo as estatísticas publicadas pelo Instituto de Seguros de Portugal (ISP).

Passageiro- pessoa afeta a um veículo na via pública e que não seja condutora.

Peão- pessoa que transita na via pública a pé em locais sujeitos a legislação rodoviária.

Ponto negro- lanço de estrada com um máximo de 200 metros de extensão no qual se registou, pelo menos, 5 acidentes com vítimas no ano em análise e cuja soma de indicadores de gravidade é superior a 20.

Vítima- Ser humano que em consequência de acidente sofra danos corporais.

SIGLAS e ABREVIATURAS

ANSR- Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária

GNR- Guarda Nacional Republicana

ISP- Instituto de Seguros de Portugal

PSP- Policia de Segurança Pública

RMAV- Rácio de acidentes com vítimas mortais por 100 acidentes com vítimas.

BEAV – Boletim estatístico de acidentes de viação

CENPERCA – Centro Pericial de Acidentes

ENSR- Estratégia Nacional para a Segurança Rodoviária

UE- União Europeia

GNR- Guarda Nacional Republicana

IMT- Instituto de Mobilidade e dos Transportes, I.P.

INMLCF - Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses, I. P.

ISP- Instituto de Seguros de Portugal

LBT- Livro Branco dos Transportes

MAI- Ministério da Administração Interna

ONU - Organização das Nações Unidas da União

PEASR- Plano Europeu de Ação de Segurança Rodoviária

PMSR- Planos Municipais de Segurança Rodoviária

PNPR - Plano Nacional de Prevenção Rodoviária

PSP- Policia de Segurança Pública

RASI - Relatório Anual de Segurança Interna

RMAV- Rácio de acidentes com vítimas mortais por 100 acidentes com vítimas.

TAS- As taxas de álcool no sangue

EES- *Energy Equivalent Speed*

1 INTRODUÇÃO

A exigência da tarefa da condução requer da parte do condutor, uma constante adaptação a novas situações e desafios (S. Lafont, Laumon, Helmer, Dartigues, & Fabrigoule, 2008). Frequentemente estes desafios acabam em trágicos acidentes e, conseqüentemente acarretam graves prejuízos para todos os intervenientes. As conseqüências dos acidentes de viação abrangem diferentes domínios, que vão desde as perdas ao nível material, financeiro e principalmente ao nível humano (físicos, psicológicos e social). Os problemas sociais provocados pelos acidentes de viação não se cingem às vítimas implicadas no evento, pois todo o seu contexto social é afetado e, frequentemente, de forma irreversível. Estas conseqüências aliadas às presentes desigualdades sociais existentes em alguns sectores da sociedade, são um fator potenciador no desfavorecimento económico das famílias mais desprotegidas, pois custos médicos, diretos ou indiretos, perda de salários que resultam das lesões sofridas, são ainda de maior relevância nestes sectores da sociedade (“Supporting a decade of action,” 2013).

O fenómeno da sinistralidade rodoviária tem merecido nos últimos anos uma especial atenção por parte das entidades competentes e, apesar de todo o esforço efetuado no desenvolvimento de políticas nacionais e internacionais com vista ao combate deste grave problema, o fenómeno persiste. O número de vítimas mortais resultantes dos acidentes de viação continua ainda em valores demasiadamente preocupantes e inaceitáveis (“Supporting a decade of action,” 2013). Em março de 2010, a Organização das Nações Unidas (ONU) anunciou e lançou um programa com vista a fornecer um quadro de linhas de referência para os países e as comunidades sobre como aumentar os mecanismos para salvar vidas nas estradas em todo o mundo. O programa veio a ser conhecido como a “Década de Ação para a Segurança Rodoviária 2011-2020” (“Supporting a decade of action,” 2013).

Nesse mesmo ano de 2010 e, segundo dados obtidos no Global Plan (“Supporting a decade of action,” 2013), as vítimas mortais em todo o mundo ascenderam a 1,24 milhão de pessoas, associado a este facto, estão os elevados custos materiais e financeiros, estimados entre 1% e 3% do respetivo Produto Interno Bruto de países desenvolvidos. Só nas estradas da União Europeia (UE) morreram em 2009, mais de 35 000 pessoas e pelo menos 1 500 000 sofreram ferimentos (Europeia, 2014).

Para compreender o problema é necessário investigar profundamente as causas e fatores que levam à ocorrência dos acidentes de viação e conseqüentemente às trágicas conseqüências que lhe estão associadas. Vários estudos têm sido desenvolvidos no sentido de compreender e demonstrar quais são os diversos contributos para o aumento ou agravamento da sinistralidade rodoviária, quer ao nível do número de acidentes, quer ao nível da gravidade das conseqüências para as vítimas. Fatores como o consumo de álcool, fadiga, idade, consumo de medicamentos ou drogas levam ao aumento da probabilidade de se sofrer ou provocar um acidente de viação (Li, Brady, & Chen, 2013). Outros fatores frequentemente estudados como a velocidade, condições atmosféricas ou características da via, bem como, a falta de uso dos sistemas de proteção (cintos de segurança) têm de ser tidos em conta, quando são delineadas estratégias de prevenção rodoviária.

Toda esta complexidade de fatores leva a um maior desafio na criação de estratégias e programas que sejam eficazes no combate à sinistralidade rodoviária. O sistema rodoviário tem no Homem o elemento principal e, consequentemente, associado a si as principais causas dos acidentes de viação. O corpo humano está sujeito a limites de tolerância biomecânicas e, simplesmente, não é concebido para se deslocar em alta velocidade e resistir a fortes desacelerações. Um sistema de segurança rodoviária eficaz deve sempre levar em conta a falibilidade humana (Belin, Tillgren, & Vedung, 2012). Baseado neste conceito de falibilidade humana, a *Visão Zero*, programa implementado na Suécia com vista a combater a sinistralidade rodoviária, prevê que as consequências dos acidentes de viação só serão toleradas se houver uma conceção de todo um sistema de transporte que possa superar esses riscos através da evolução das infraestruturas rodoviárias, educação, tecnologia, controlo e vigilância de tráfego com inclusão de sistemas de monitorização dos fluxos de tráfego e condições meteorológicas ou outras medidas que se qualificam como sistemas de tráfego inteligentes, proporcionando desta forma, **um sistema de transportes humanizado que admita ao Homem a sua proteção em caso de acidente.**

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Caracterização dos acidentes de viação quanto à natureza e utentes

2.1.1 Principais políticas e projetos de combate à sinistralidade na UE e Portugal

A União Europeia tem vindo a adotar políticas de segurança rodoviária e definir estratégias com o intuito de combater e minorar as consequências dos acidentes de viação.

Em 2001, com elaboração do Livro Branco dos Transportes (LBT), é definido como meta a redução para metade do número de mortos provenientes da sinistralidade rodoviária. O problema da insegurança rodoviária é visto como um enorme constrangimento ao desenvolvimento económico e, por sua vez, com o alargamento da UE esta tendência poderia acentuar-se, se não fossem adotadas medidas que contrariassem esta realidade.

Em 2003 e em linha com o LBT, é apresentado o Plano Europeu de Ação de Segurança Rodoviária (PEASR), com as diretrizes e linhas orientadoras para os países membros atingirem o grande objetivo de reduzir para metade o número de vítimas mortais até 2010.

Apesar do sucesso dos anteriores programas da UE, em 2009 ainda se registaram nas estradas europeias 35000 vítimas mortais e mais de 1 700 000 pessoas ficaram feridas em acidentes de viação.

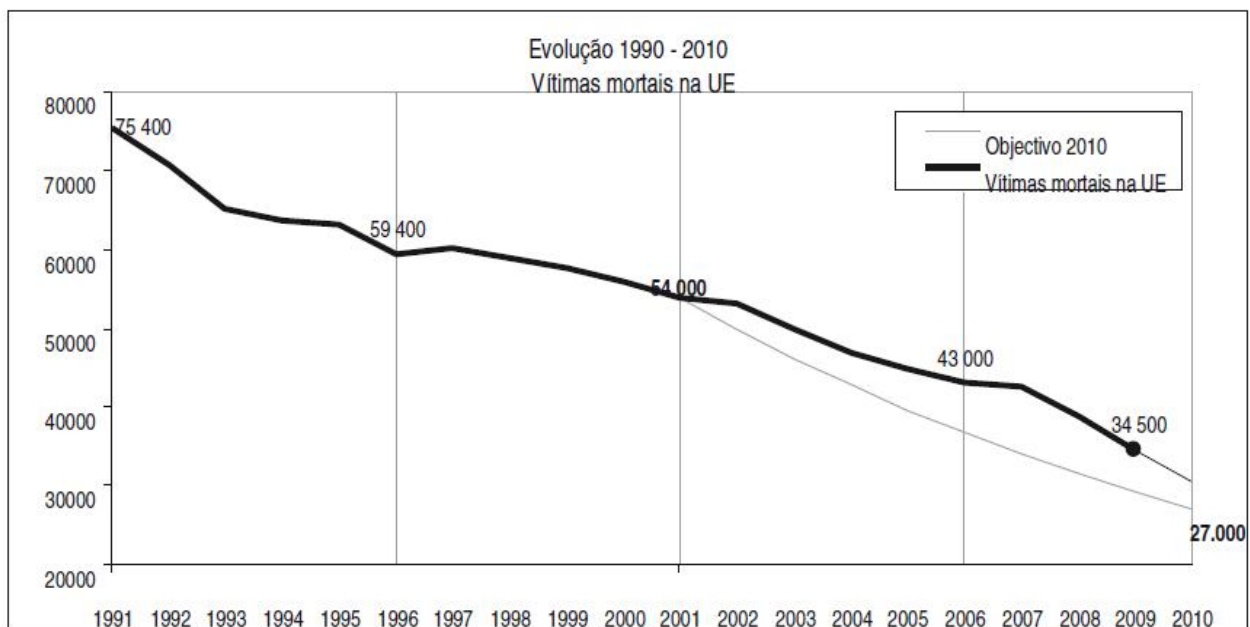


Figura 1 – Evolução das vítimas mortais na UE 1990-2010

Com o objetivo de continuar a desenvolver uma estratégia de segurança rodoviária, em 2011 é apresentado um novo documento “Orientações para a Política de Segurança Rodoviária de 2011 a 2020” (Move, 2011), tendo sido definida uma nova meta que visa a redução em 50% das vítimas de acidente de viação, até ao ano 2020.

Nesta nova abordagem ao problema, o utente da estrada é visto como o primeiro elo da cadeia de segurança rodoviária. Independentemente das medidas técnicas, a eficácia da política de segurança rodoviária, o comportamento dos utentes tem, em última análise, o papel central em todo este processo. A educação, formação e o cumprimento das regras, são fundamentos essenciais, sem os quais não será possível desenvolver um sistema rodoviário seguro. No entanto, sabendo que o risco zero não existe, é necessário ter em conta o erro humano e os comportamentos inapropriados, corrigindo-os tanto quanto possível, através da conceção de veículos mais seguros e infraestruturas menos agressivas, a fim de evitar e limitar as consequências dessas falhas para os utentes, em especial os mais vulneráveis.

Tendo em conta estes pressupostos a união Europeia elaborou o plano de “Orientações para a Política de Segurança Rodoviária de 2011 a 2020”, assente em três princípios fundamentais:

- Promover normas mais elevadas de segurança rodoviária em toda a Europa;
- Uma abordagem integrada da segurança rodoviária;
- Subsidiariedade, proporcionalidade e responsabilidade partilhada;

O plano tem por objetivos estratégicos:

- Melhorar a educação e a formação dos utentes da estrada;
- Intensificar o controlo do cumprimento do código da estrada;
- Uma infraestrutura rodoviária mais segura;
- Veículos mais seguros;
- Promover a utilização de tecnologias modernas para reforçar a segurança rodoviária;
- Melhorar os serviços de emergência e a pós-assistência aos feridos;
- Proteção dos utentes vulneráveis da via pública;

É realçado no referido documento, a importância da criação de instrumentos comuns para o acompanhamento e a avaliação da eficácia das políticas de segurança rodoviária, sendo para isso necessário otimizar o acompanhamento mediante a recolha e a análise de dados, assim como, melhorar a compreensão dos mecanismos geradores de colisões e acidentes. Neste campo, as **investigações técnicas efetuadas na sequência de acidentes**, são vistas como um instrumento de valorização e de grande utilidade para o reforço da segurança do transporte rodoviário.

Os acidentes na UE, a 28 países, vitimaram mortalmente 26.012 cidadãos no ano de 2013, uma diminuição de 7,7% em relação aos 28.173 verificados no ano anterior e que se traduz, em média, por 51 “Mortos por milhão de habitantes”. Em relação a 2010, ano de referência para o Programa de Segurança Rodoviária Europeu da Comissão Europeia (“*Towards a European road safety area*”) a diminuição acumulada de vítimas mortais foi de 17,7% (Anuário de Segurança Rodoviária ANSR, 2013.)

Tabela 1 – Vítimas mortais na União Europeia 2010-2013 (ASR 2013)

Vítimas mortais na União Europeia							
	2010	2011	2012	2013	Evolução		Mortos/Milhão de Habitantes 2013
					13 / 12	13 / 10	
Alemanha	3 651	4 009	3 601	3 340	-7,2%	-8,5%	41
Áustria	552	523	531	455	-14,3%	-17,6%	53
Bélgica	841	861	767	720	-6,1%	-14,4%	65
Bulgária	776	658	605	600	-0,8%	-22,7%	82
Chipre	60	71	51	44	-13,7%	-26,7%	51
Croácia	426	418	393	368	-6,4%	-13,6%	86
Dinamarca	255	220	167	192	15,0%	-24,7%	34
Eslováquia	353	324	295	223	-24,4%	-36,8%	55
Eslovénia	138	141	130	125	-3,8%	-9,4%	61
Espanha	2 478	2 060	1 903	1 680	-11,7%	-32,2%	36
Estónia	79	101	87	81	-6,9%	2,5%	61
Finlândia	272	292	255	258	1,2%	-5,1%	48
França	3 992	3 963	3 653	3 250	-11,0%	-18,6%	50
Grécia	1 258	1 141	984	870	-11,6%	-30,8%	79
Holanda	640	661	650	570	-12,3%	-10,9%	34
Hungria	740	638	605	591	-2,3%	-20,1%	60
Irlanda	212	186	162	190	17,3%	-10,4%	41
Itália	4 114	3 860	3 653	3 400	-6,9%	-17,4%	57
Letónia	218	179	177	179	1,1%	-17,9%	88
Lituânia	299	297	301	258	-14,3%	-13,7%	86
Luxemburgo	32	33	34	45	32,4%	40,6%	84
Malta	15	17	9	18	100,0%	20,0%	43
Polónia	3 907	4 189	3 571	3 357	-6,0%	-14,1%	87
Portugal	937	891	718	637	-11,3%	-32,0%	64
Reino Unido	1 905	1 960	1 802	1 790	-0,7%	-6,0%	28
República Checa	802	773	742	654	-11,9%	-18,5%	62
Roménia	2 377	2 018	2 042	1 861	-8,9%	-21,7%	93
Suécia	266	319	285	260	-8,8%	-2,3%	27
UE 28	31 595	30 803	28 173	26 016	-7,7%	-17,7%	51

Como se pode constatar na Tabela 1, neste período (2010-2013), só a Eslováquia (-36,8%) e a Espanha (-32,2%), tiveram uma taxa de redução superior a Portugal (-32%).

Em Portugal, o trabalho desenvolvido pelas instituições nacionais com responsabilidades nesta matéria, resultou numa redução considerável e sustentada do número de vítimas mortais nas estradas portuguesas, pois, tendo em conta os dados fornecidos pela Autoridade Nacional de segurança Rodoviária (ANSR), Portugal tinha em 1995, um número de vítimas mortais, que colocavam o país na cauda da Europa comparativamente aos seus parceiros (271 mortos/milhão de habitantes, sendo a média europeia UE27 de 132 mortos/milhão de habitantes).

Em 2005, a redução da taxa de sinistralidade atingiu as 184 vítimas mortais/milhão de habitantes - média europeia 117/ milhão de habitantes) e, em 2009, Portugal atinge o objetivo definido no LBT, que tinha como meta a redução para metade das vítimas mortais resultantes dos acidentes de viação. No entanto, segundo a mesma fonte, nos dados fornecidos pelas entidades portuguesas apenas se contabilizavam as vítimas cujo óbito ocorresse no local do acidente ou durante o percurso até à unidade de saúde, sendo afetada da Majoração de 1,14 (1998-2009). A inclusão do critério de contabilização das Vítimas cujo óbito ocorra no período de **30 dias após o acidente** foi considerada a partir de 2010. Com a introdução desta nova metodologia de contabilização das

vítimas mortais, no quadriénio (2010-2013), o número total de vítimas mortais foi, em média, 26,3% superior ao número de vítimas registadas no local do acidente ou a caminho da unidade hospitalar, como é possível constatar na Tabela 21.

Tabela 2 – Mortos a 30 dias no local do acidente

Mortos a 30 Dias / Mortos no local do acidente			
Grupos de Risco		Fator constante	Média verificada 2010 / 2013
Condutores de veículos de 2 rodas a motor		1,14	1,23
Condutores de automóveis ligeiros		1,14	1,13
Peões		1,14	1,62
Sinistralidade dentro das localidades	Utilizadores de ligeiros	1,14	1,19
	Utilizadores de 2 rodas	1,14	1,31
	Peões	1,14	1,82

Seguindo uma ordem cronológica, passam a referenciar-se as seguintes medidas de combate à sinistralidade em Portugal. No ano de **1992**, foi implementada a obrigatoriedade das inspeções periódicas, que contribuíram para uma melhor qualidade do estado dos veículos. O controlo das condições técnicas dos veículos é visto como um imperativo nacional e comunitário, que visa melhorar as condições de circulação dos veículos, através da verificação periódica das suas características e das suas condições de segurança, com particular importância para a salvaguarda da segurança rodoviária.

A legislação referente à obrigatoriedade das inspeções periódicas, tem sofrido algumas alterações, transpondo para a ordem jurídica interna algumas Diretivas Comunitárias, nomeadamente através do Decreto-Lei n.º 144/2012, que alarga o universo de veículos a sujeitar a inspeção, passando a incluir os motociclos, triciclos e quadriciclos com cilindrada superior a 250 cm³, bem como, os reboques e semirreboques com peso igual ou superior a 750 kg e inferior a 3.500 kg,

Por sua vez, o Decreto-Lei n.º 100/2013, de 25 de julho, adequa a periodicidade das inspeções a que estão sujeitos os reboques e os semirreboques com peso bruto igual ou superior a 750 kg e não superior a 3.500 kg, em função dos fins a que se destinam, mantendo as garantias de segurança rodoviária.

Em **1994**, as alterações ao Código da Estrada introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 114/94, de 3 de maio, tornam obrigatório o uso do cinto de segurança dentro das localidades, nos bancos traseiros dos veículos ligeiros e o limite de velocidade dentro das localidades passou de 60Km/h para 50Km/h.

Posteriormente, em **1995**, tornou-se obrigatório o uso de sistemas de retenção para crianças e, em 2001, surge o agravamento das sanções pecuniárias.

O ano de **2003** foi um ano marcante no planeamento do combate à sinistralidade rodoviária. Através do Ministério da Administração Interna é lançado o Plano Nacional de Prevenção Rodoviária (PNPR), composto por um conjunto de medidas e ações, visava uma redução de 50% do número de vítimas mortais e feridos graves, até ao ano de 2010.

Tendo em conta o Programa de Ações 2003-2005 do PNPR, foi realizado um estudo pelo Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE) para a Secretaria de Estado da Proteção Civil (SEPC), onde se procurou adequar a matriz de *Haddon*¹ à realidade da sinistralidade rodoviária em Portugal. Esse trabalho foi desenvolvido, na perspetiva da intervenção futura, sendo definidos os quatro grandes conjuntos de fatores determinantes de acidentes.

Tabela 3 – Fatores determinantes do PNPR

FATORES DETERMINANTES				
	Comportamento	Veículo e equipamento	Meio envolvente e Infraestrutura	Sócio culturais e ambientais
Antes do acidente	Educação para a condução; Exame de condução; Perda e recuperação da carta; Educação contínua.	Idade, condições e controlo do parque automóvel; Soluções de segurança ativa; Introdução de medidas de dissuasão nas empresas (alcoómetros, p.ex.).	Conceção, Construção, Sinalização, Conservação e Requalificação das Vias; Estacionamento; Controlo Automático da Velocidade.	Educação cívica e escolar (pré-habilitação); Pressão social sobre comportamentos; Ordenamento do Território.
No acidente	Utilização sistemática dos dispositivos de segurança.	Soluções de segurança passiva.	BEAV; Melhoria da Capacidade de Aviso.	O Socorro (Aviso e Auxílio) como prioridade cívica
Depois do Acidente	Avaliação comportamental de condutores envolvidos.	Estudo dos veículos envolvidos em acidentes.	Investigação dos acidentes; Análise e correção dos Pontos Negros; Melhoria da capacidade de intervenção (formação dos meios de socorro e rede nacional de assistência)	Educação para o Socorrismo.

Nessa visão de futuro, foi aprofundada posteriormente, a investigação sobre as Ações Transversais, ou seja aquelas que deveriam ter uma relação efetiva com todos aqueles fatores e que são determinantes para o sucesso da sua aplicação, servindo de base à conceção da Estratégia Nacional para a Segurança Rodoviária (ENSR).

No ano de **2005**, entraram em vigor novas alterações ao Código da Estrada, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 44/2005, de 23 de Fevereiro, introduzindo a obrigatoriedade do uso do colete retrorrefletor para os condutores, o pagamento das coimas passa a ser efetuado no momento e as

¹ *Matriz desenvolvida em 1968 por William Haddon, Jr., médico de saúde pública no Departamento de Saúde do Estado de Nova York, com o objetivo de apoiar o estudo da prevenção de lesões. Procurava analisar as lesões em termos de fatores causais e fatores de contribuição, em vez de utilizar métodos descritivos. A matriz dividia os fatores em Humanos, de Agente ou Veículo e de Enquadramento (ambiente), cada um deles considerado em três fases: Pré Acontecimento, Acontecimento e Pós Acontecimento.*

coimas por excesso de velocidade passaram a ser mais diferenciadas. Em 2008, através do Decreto-Lei n.º 113/2008 de 1 de Julho a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR) veio suceder à Direção Geral de Viação nas atribuições em matéria de contraordenações rodoviárias, conforme estabelecido no Decreto -Lei n.º 77/2007, de 29 de Março, diploma que aprovou a estrutura orgânica da ANSR e fixou a respetiva missão e atribuições. Este organismo tem por missão o planeamento e coordenação a nível nacional de apoio à política do Governo em matéria de segurança rodoviária, bem como a aplicação do direito contraordenacional rodoviário.

Em **2006**, com o objetivo de reduzir a sinistralidade rodoviária infantil e de jovens até aos 16 anos, é regulada a atividade de transportes coletivos de crianças, através da publicação da Lei 13/2006, de 17 de abril, (alterada pela Lei n.º 17-A/2006, de 26 de maio, pelo Decreto-Lei n.º 255/2007, de 13 de julho, e pela Lei n.º 5/2013, de 22 de Janeiro). A vulnerabilidade das crianças, devido a fatores como a sua inexperiência, fraca noção do perigo e fragilidade física, são fatores que dificultam uma integração segura no ambiente rodoviário.

Esta legislação introduz a obrigação da certificação de empresas, veículos e motoristas, que façam o transporte coletivo de crianças de e para os estabelecimentos de educação e ensino, creches, jardins-de-infância e outras instalações ou espaços em que decorram atividades educativas ou formativas e veio contribuir para uma diminuição da sinistralidade rodoviária infantil. Segundo a ANSR, através da “Ficha Temática Crianças 2004-2013” (FTC) (ANSR, 2013), Portugal apresentou nos últimos dez anos (2004 a 2013) decréscimos significativos das vítimas com idades ≤ 14 anos e superiores aos observados nos restantes grupos etários, conforme é possível observar na seguinte Figura 2:

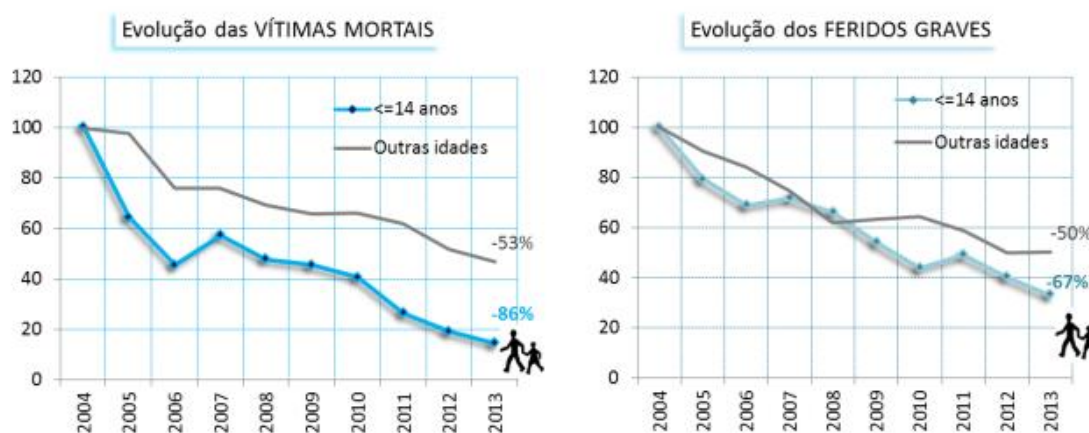


Figura 2 – Evolução das vítimas mortais e feridos graves até aos 14 anos de idade.

O número de mortos deste grupo etário diminuiu 86% e o de feridos graves 67%, enquanto os outros utentes apresentaram uma redução de 53% mortos e 50% feridos graves. No entanto, é referido no mesmo documento, que apesar destes resultados serem francamente positivos, é importante analisá-los tendo em conta a população, principalmente nas circunstâncias atuais, em que a tendência é no sentido de uma diminuição sistemática na proporção de crianças face ao total nacional.

É lançada em **2008** a ENSR (“Estratégia nacional de segurança rodoviária 2008 – 2015,” 2015), constituindo-se como o documento diretor e orientador das políticas de prevenção e de combate à

sinistralidade rodoviária num espaço temporal alargado (2008 – 2015). Esta estratégia procura responder ao desafio de colocar Portugal entre os 10 países da UE com mais baixa sinistralidade rodoviária, medida em mortos a 30 dias por milhão de habitantes.

A ENSR resulta de um estudo previamente elaborado pelo Ministério da Administração Interna (MAI) e é elaborada posteriormente pela ANSR, com o acompanhamento e direção científica do ISCTE, do qual resulta a identificação de alguns fatores prioritários e vários segmentos críticos, que serviram de base ao desenvolvimento e aplicação deste programa de intervenção para a segurança rodoviária.

Os pontos críticos identificados foram os seguintes:

- A acalmia de tráfego (controlo de velocidade);
- O controlo da condução sob o efeito do álcool e de substâncias psicotrópicas;
- A formação, as condições do acesso ao título de condução e a avaliação dos condutores;
- A formação e a educação para a segurança do ambiente rodoviário;
- O socorro às vítimas (especialmente ao nível da prontidão e do estabelecimento de uma rede especializada de estruturas hospitalares);
- A auditoria das vias (particularmente nas estradas nacionais e municipais) e inspeção da sinalização;
- A fiscalização da segurança do parque automóvel.

Após a identificação dos pontos de intervenção, foram definidos os objetivos quantitativos a atingir pela ENSR, nomeadamente:

- Colocar, até 2011, a sinistralidade rodoviária portuguesa em 78 mortos por milhão de habitantes, equivalente a uma redução de 14,3% (base 2006)
- Melhorar esse indicador para alcançar, em 2015, os 62 mortos por milhão de habitantes, equivalente a uma redução de 31,9% (base 2006)

Em **2009** é elaborado pela ANSR o Guia para a elaboração de Planos Municipais de Segurança Rodoviária (PMSR), reconhecendo a importância do poder autárquico como agente fundamental para a implementação de políticas locais de aplicação da ENSR.

Outros fatores foram preponderantes para que esta diminuição da sinistralidade rodoviária fosse uma realidade, tais como, a evolução das vias, no que diz respeito à sua conceção, manutenção, sinalização, deteção e eliminação de pontos negros (lanço de estrada, com um máximo de 200 metros, e onde se registem pelo menos cinco acidentes com vítimas e cuja soma de indicadores de gravidade é superior a 20), os estudos de segurança viária que permitem uma melhor compreensão e monitorização do problema e as obras de engenharia que contribuem para a acalmia do tráfego através da manipulação e controlo da velocidade.

Neste mesmo ano, o Decreto-Lei n.º 126/2009 de 27 de Maio transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2003/59/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Julho, alterada pela Diretiva n.º 2004/66/CE, do Conselho, de 26 de Abril, e pela Diretiva n.º 2006/103/CE, do Conselho, de 20 de Novembro, relativa à qualificação inicial e à formação contínua dos motoristas de determinados veículos rodoviários afetos ao transporte de mercadorias e de passageiros.

Esta legislação impõe a obrigação de uma nova qualificação profissional aos motoristas de veículos pesados, com vista à melhoria das condições de segurança para o motorista e consequentemente para a segurança rodoviária. Esta nova abordagem à atividade profissional de motorista traz um aumento da qualidade de serviço, fundamentalmente através do aproveitamento dos recursos e aumento da segurança.

Em **2011** teve início o processo de Revisão Intercalar (RI) da ENSR, (Resolução do Conselho de Ministros n.º 5/2014) tendo em vista proceder à avaliação dos resultados obtidos na primeira fase, bem como o planeamento das ações a executar até 2015. Com a RI da ENSR é estabelecido e aprofundada a conceção da sinistralidade assente num pressuposto baseado num imperativo ético que “Ninguém deve morrer ou ficar permanentemente incapacitado na sequência de um acidente rodoviário em Portugal”. Para alcançar este objetivo, a sinistralidade rodoviária deverá tender, a longo prazo, para um resultado de zero mortos e zero feridos graves, através da criação de um **“Sistema de Transporte Rodoviário Humanizado.”**

“Nesta abordagem é reconhecido que os utilizadores do sistema de transporte rodoviário irão cometer erros e que estes poderão originar acidentes de viação. Por essa razão o sistema deve ser mais explicativo e intuitivo, proporcionando menos erros humanos e, simultaneamente, ser mais tolerante e respeitoso da fragilidade humana perante as consequências desses erros.” (Resolução do Conselho de Ministros n.º 5/2014)

Os novos pressupostos para a evolução da população e a média da evolução verificada no quadriénio 2010-2013 para o cálculo do “Morto a 30 dias”, para se atingir a meta proposta pela ENSR, as vítimas mortais não poderão ultrapassar, no final do período, as 608 vítimas a 30 dias e as 482 vítimas no local do acidente quando, em 2008, estes valores eram, respetivamente, 660 e 579 vítimas mortais.



Figura 3 – Meta quantitativa da ENSR

Em **2012** entra em vigor o Decreto-Lei n.º 138/2012, de 5 de julho, alterado pelo Decreto-Lei n.º 37/2014, de 10 de março, introduz diversas alterações ao Código da Estrada e aprova o novo Regulamento da Habilitação Legal para Conduzir (RHLC), transpondo parcialmente para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/126/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de dezembro, relativa à carta de condução.

Este diploma surge com o objetivo de uniformizar os prazos de validade da carta de condução dos Estados membros da União Europeia e do espaço económico europeu, assim como, os requisitos de aptidão física, mental e psicológica, quando exigida, de candidatos e condutores.

Com os novos prazos de validade das cartas de condução, os condutores estão sujeitos a comprovação das suas aptidões físicas e mentais, em períodos mais curtos, nomeadamente os condutores do Grupo 2², para as cartas obtidas a partir de 2 de Janeiro de 2013, como é possível observar na Tabela 4:

Tabela 4 – Validade dos títulos de condução

Validade dos títulos de condução
1 - Condutores de veículos das categorias AM, A1, A2, A, B1, B e BE Aos 30, 40, 50, 60, 65 e 70 anos e, posteriormente, de dois em dois anos, sem limite de idade (exceção: quando a carta de condução é obtida entre os 25 e os 30 anos, os seus condutores estão dispensados de revalidar o título de condução aos 30 anos);
2 - Condutores de veículos das categorias C1, C1E, C, CE e das categorias B e BE com averbamento do Grupo 2 Aos 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 e 70 anos e, posteriormente, de dois em dois anos, sem limite de idade;
3 - Condutores de veículos das categorias D1, D1E, D e DE Aos 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 anos;

Este diploma legal é visto como um instrumento indispensável ao desenvolvimento da política comum de transportes, de forma a melhorar a segurança rodoviária e facilitar a circulação de pessoas que fixam residência num Estado membro diferente do emissor do título de condução.

2013 é o ano da publicação da Lei n.º 72/2013, de 3 de Setembro, alterando pela décima terceira alteração o Código da Estrada, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 114/94.

Com esta nova legislação, são introduzidos novos conceitos como o do “utilizador vulnerável” (peões e velocípedes, em particular, crianças, idosos, grávidas, pessoas com mobilidade reduzida ou pessoas com deficiência) e é previsto a criação de Zonas de Coexistência, onde é permitido a partilha da via por veículos e outros utilizadores no mesmo espaço de forma não hierarquizada. Para tal, os limites de velocidade são no máximo de 20km/h, sendo que, as vias devem respeitar as regras fundamentais de desenho urbano da via pública a aplicar nas referidas zonas, tendo por base os princípios do desenho inclusivo, considerando as necessidades dos utilizadores vulneráveis, inclusive com a definição de uma plataforma única, onde não existam separações

² Grupo2: candidatos ou condutores de veículos das categorias C1, C1E, C, CE, D1, D1E, D e DE, bem como os condutores das categorias B e BE que exerçam a condução de ambulâncias, de veículos de bombeiros, de transporte de doentes, de transporte escolar, de transporte coletivo de crianças e de automóveis ligeiros de passageiros de aluguer.

físicas de nível entre os espaços destinados aos diferentes modos de deslocação. (artigo 78.º-A Lei 72/2013, de 3 de Setembro).

Outra das alterações prende-se com a redução da taxa de álcool para determinados condutores. Com a nova legislação a taxa de álcool no sangue a partir da qual é considerada contraordenação sofreu uma redução significativa para condutores no regime probatório³ e de veículos pesados de mercadorias ou de passageiros, de socorro ou serviço urgente, de transporte coletivo de crianças, de táxis e de veículos de transporte de mercadorias perigosas.

Tabela 5 – Valores da taxa de álcool no sangue (TAS)

Taxa de álcool no sangue		
Generalidade dos condutores	Condutores em regime probatório, condutores de veículos de socorro ou serviço urgente, de transporte coletivo de crianças, de táxis, de veículos pesados de mercadorias ou passageiros e de veículos de transporte de mercadorias perigosas	Contraordenação
0,50g/l	0,20 g/l	Contraordenação Grave
0,79 g/l	0,49 g/l	
0,80 g/l	0,50 g/l	Contraordenação Muto Grave
1,19 g/l	1,19 g/l	
1,20 g/l	1,20 g/l	Crime

A tentativa do fomento do uso de velocípedes como meio de transporte sustentável está bem presente neste novo documento, através de várias alterações de regras de circulação que favorecem a circulação do velocípede na via pública, sem que para isso lhe sejam diminuídas as condições de segurança. Estas alterações vão de encontro ao previsto no projeto de "Ciclando" (Melorose, Perroy, & Careas, 2015)- Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves 2013-2020- ". Este Grupo foi constituído na sequência da Resolução da Assembleia da República n.º 3/2009, pelo Despacho Interministerial n.º 11125/2010 e integra vários organismos da Administração Pública Central do Estado, em representação dos Ministérios da Economia e do Emprego, do Ambiente, do Mar, da Agricultura e do Ordenamento do Território, da Educação e Ciência, da Saúde e da Administração Interna, e também a Associação Nacional de Municípios Portugueses, a Associação Nacional de Freguesias e o Conselho Nacional do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável. Desenvolvido para o período 2013-2020, com os objetivos de valorizar o uso da bicicleta e o "andar a pé" como práticas de deslocação quotidiana dos cidadãos, integradas no sistema de transportes e dando prioridade a critérios de sustentabilidade e eficiência económica,

³ Regime probatório: A carta de condução emitida a favor de quem ainda não se encontrava legalmente habilitado a conduzir qualquer categoria de veículos fica sujeita a regime probatório durante os três primeiros anos da sua validade

ambiental e social, assim como, orientar as políticas públicas urbanas para o objetivo da mobilidade sustentável, protegendo o espaço público e a saúde e bem-estar dos cidadãos. Estas foram algumas das medidas, associadas à evolução do parque automóvel, à qualidade das vias e às alterações de atitudes e comportamentos dos utentes, que contribuíram para a redução significativa da sinistralidade, em Portugal, nestes últimos anos.

2.2 Caracterização dos acidentes de viação em Portugal

Segundo o “Anuário de Segurança Rodoviária 2013 (ASR2013), elaborado pelo MAI e ANSR, em 2013 morreram em Portugal Continental 637 pessoas, como consequência de 30.339 acidentes rodoviários com vítimas. Desses acidentes resultaram, ainda, 1.946 feridos graves e 36.807 feridos leves, num total de 39.390 vítimas, o que significou a existência, em média, de cerca de 1,3 vítimas por acidente.

Tabela 6 – Evolução das vítimas e número de acidentes entre 2010-2013 (ASR 2013)

	Número			Evolução (%)	
	Média 2010-2012	2012	2013	2013/Média 2010-2012	2013/2012
Acidentes	32.611	29.867	30.339	-7,0%	1,6%
Mortos	849	718	637	-25,0%	-11,3%
Feridos graves	2.227	1.941	1.946	-12,6%	0,3%
Feridos leves	39.916	36.164	36.807	-7,8%	1,8%
Total de vítimas	42.992	38.823	39.390	-8,4%	1,5%
Vítimas por acidente	1,32	1,30	1,30		
Índice de gravidade	2,6	2,4	2,1		
Indicador de gravidade (IGr)	226.886	199.702	193.581	-14,7%	-3,1%
IGr/10 ⁶ de habitantes	22.639	20.017	19.517	-13,8%	-2,5%
IGr/acidente	7,0	6,7	6,4		
Mortos/10 ⁶ de habitantes	85	72	64	-24,4%	-10,8%
Mortos/10 ⁵ veículos segurados	13,3	11,2	9,7	-26,6%	-13,2%

Em 2013 constatou-se um ligeiro aumento no que se refere ao número de acidentes com vítimas, feridos ligeiros e feridos graves, relativamente ao ano de 2012. No entanto, em 2013, os acidentes com vítimas mortais foram inferiores a 2% do total de acidentes registados. É um valor que se encontrava abaixo da média dos acidentes registados entre 2010 a 2012.

Tabela 7 – Evolução do tipo de acidentes entre 2010-2013 (ASR 2013)

	Média 2010 - 2012		2012		2013	
Com mortos	783	2,4	667	2,2	585	1,9
Com feridos graves	1.814	5,6	1.622	5,4	1.617	5,3
Com feridos leves	30.014	92,0	27.578	92,3	28.137	92,7
Total	32.611	100%	29.867	100%	30.339	100%

	Média 2010 - 2012		2012		2013	
Só com mortos	510	1,6	443	1,5	392	1,3
Com mortos e feridos graves	73	0,2	61	0,2	51	0,2
Com mortos, feridos graves e leves	49	0,1	40	0,1	33	0,1
Com mortos e feridos leves	151	0,5	123	0,4	109	0,4
Só com feridos graves	1.301	4,0	1.160	3,9	1.210	4,0
Com feridos graves e leves	512	1,6	462	1,5	407	1,3
Só com feridos leves	30.014	92,0	27.578	92,3	28.137	92,7
Total	32.611	100%	29.867	100%	30.339	100%

Como podemos observar na Figura 4, na última década o número as vítimas mortais resultantes dos acidentes de viação têm seguido uma tendência de decréscimo.

Evolução das vítimas mortais



Figura 4 - Evolução das vítimas mortais entre 2005-2014 (ANSR 2014)

Fator humano

Apesar de todo esforço desenvolvido para adoção de comportamentos seguros, o fator humano continua a ter um papel central nos resultados finais da sinistralidade rodoviária. A grande maioria de acidentes de viação resulta de falha humana (PEREIRA, 2013); Segundo Pimentão (2008), há muitas razões para que assim seja. Desde logo, a constante desvalorização do risco no ato de conduzir, agravada pela representação mais positiva que os condutores têm acerca de si próprios em relação aos outros (a autoperceção é mais otimista do que a heteroperceção (Campo e Lagares, 2000)), traduz uma grande tendência, portanto, para desvalorizar o risco na atividade de condução. Numa estrutura bifactorial (risco assustador/risco desconhecido), Lima (2004) verificou que a perceção do risco associada à atividade de condução é menor relativamente a outros riscos

(considerados mais incontrolláveis e desconhecidos). O controlo comportamental percebido contribuirá, assim, para a adoção e manutenção de determinados comportamentos, quer sejam ou não adequados (Ajzen, 1985). Por outro lado, Delicado e Gonçalves (2007) constataram que os acidentes, designadamente os acidentes rodoviários, surgiam em terceiro lugar nas preocupações manifestadas pelos inquiridos: a sensação de vulnerabilidade provinha uma vez mais do seu carácter involuntário (os participantes consideravam que eram situações fortuitas que fugiam ao seu controlo). A desvalorização do risco na condução deriva, portanto, mais do otimismo em relação às competências próprias do que da confiança no contexto de tráfego ou nos outros condutores.

Paradoxalmente, a distração, a sonolência, a fadiga, o álcool, a ingestão de drogas ou certos medicamentos e o excesso de velocidade são fatores individuais que aumentam significativamente o risco de acidente. Muitos destes aspetos são ainda mais relevantes quando falamos de condutores jovens que pelas características, egocentrismo (Inhelder e Piaget, 1955), auditório imaginário e fábula pessoal (Elkind, 1967), constituem um grupo particularmente vulnerável.

De acordo com Biermann, Eick, Brünken, Debus e Leutner (2005), as causas fundamentais para o elevado risco de acidente entre os jovens condutores são, por um lado, a relativa pouca experiência de condução juntamente com a sobrestimação das competências pessoais e, por outro lado, as características de personalidade, estilo de vida e fatores sociais.

Um estudo realizado por Pimentão (2008), com base na teoria do comportamento planeado de Ajzen (1985), procurou analisar o comportamento de risco ao volante de jovens condutores e concluiu que a perceção de risco é menor para os comportamentos praticados com maior frequência. Comportamentos simples, como a utilização ou não, dos cintos de segurança ou do capacete de proteção, são ainda vistos, por vezes, como dispensáveis quando conduzimos ou viajamos num veículo. Segundo o ASR2013, a não utilização do cinto de segurança pelos condutores de veículos ligeiros envolvidos em acidentes com vítimas agravou cerca de 30 (trinta) vezes a probabilidade de morte num acidente, quando comparado com os condutores que o utilizavam à altura do acidente. Em 2013, os passageiros com mais de 12 anos de idade que viajavam nos bancos dianteiros sem cinto de segurança tinham uma taxa de morte cerca de 3 vezes maior do que os passageiros que o utilizavam. Quanto aos que viajavam nos bancos traseiros sem cinto de segurança tinham uma taxa de morte cerca de 4 vezes maior face aos que o utilizavam. De igual modo, a não utilização de capacete pelos condutores de “veículos de 2 rodas com motor” envolvidos em acidente com vítimas agravou a probabilidade de morte cerca de 7 (sete) vezes face aos condutores que o utilizavam aquando do acidente.

No mesmo relatório e, relativamente aos atropelamentos, é possível constatar que 79% das vítimas atropeladas em 2013 foram dentro das localidades, sendo que, 18% foram atropelados em passagem sinalizada e 6% não respeitavam a obrigatoriedade de utilização de passagem sinalizada.

As taxas de álcool no sangue (TAS) acima do limite legalmente estabelecido durante a condução continua a ser uma grande preocupação e, a sua diminuição, é um grande desafio previsto e quantificado na ENSR, através da identificação do grupo de risco “Condução sob o efeito do álcool e de substâncias psicotrópicas”. Sendo os efeitos do álcool sobejamente conhecidos, o seu consumo em simultâneo com a condução continua a ser muito frequente, como é comprovado

pelos resultados obtidos nas fiscalizações rodoviárias e nas pesquisas efetuadas às vítimas intervenientes em acidentes de viação. Segundo o Instituto Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses, I. P. (INMLCF), das vítimas mortais de acidentes de viação autopsiadas por este instituto em 2010, (37%) dos condutores tinham uma taxa de álcool no sangue igual ou superior a 0,5g/l, em 2011 (33%), em 2012 (37%) e em 2013 (33%).

No entanto, apesar dos resultados previstos na ENSR ainda não terem sido atingidos os objetivos propostos (redução para 25%), segundo o Relatório Anual de Segurança Interna 2014 (IASI2014) (Ndice, Da, & Interna, 2015), disponibilizado pela Secretaria Geral do Ministério da Administração Interna, tem havido uma diminuição da participação do crime de condução sob efeito do álcool (TAS igual ou superior a 1,2 g/l), como se pode constatar na Tabela 8.

Tabela 8 – Tipo de crimes mais participados em 2014

Crimes mais participados no ano 2014				
Denominação	Ano 2013	Ano 2014	Dif	Var %
Furto em veículo motorizado	29.654	27.749	-1.905	-6,4 %
Ofensa à integridade física voluntária simples	25.048	24.255	-793	-3,2 %
Violência doméstica contra cônjuge ou análogos	22.928	22.959	31	0,1 %
Condução de veículo com taxa de álcool igual superior a 1,2	24.607	20.752	-3.855	-15,7 %
Furto em residência c arromb Escal Ou chaves falsas	22.197	19.303	-2.894	-13,0 %
Outros danos	18.150	17.804	-346	-1,9 %
Ameaça e coação	14.680	14.567	-113	-0,8 %
Furto por carteirista	10.263	13.984	3.721	36,3 %
Furto de veículo motorizado	14.762	13.695	-1.067	-7,2 %
Outros furtos	11.451	11.173	-278	-2,4 %
Furto em edif Comerc Ou indust C arromb Escal Ou chav	10.812	10.545	-267	-2,5 %
Furto de oportunidade/de objectos não guardados	9.533	10.410	877	9,2 %
Condução sem habilitação legal	12.019	9.767	-2.252	-18,7 %
Furto de metais não preciosos	13.422	8.448	-4.974	-37,1 %
Roubo na via pública excepto por esticção	7.177	7.092	-85	-1,2 %
Outras burlas	6.996	6.731	-265	-3,8 %

O crime de “condução de veículo com TAS ou superior a 1,2”, teve um decréscimo de (-15,7%), contudo, segundo o mesmo relatório, num total de 343 768 participações de crimes às entidades da Guarda Nacional Republicana (GNR), Polícia de Segurança Pública (PSP) e Polícia Judiciária (PJ), este crime foi o quarto mais participado nos anos de 2013 e 2014, com 24 607 e 20 752 participações, respetivamente. No que diz respeito à categoria de “Crime em Sociedade”, este crime tem um peso superior a 50% dos restantes crimes.

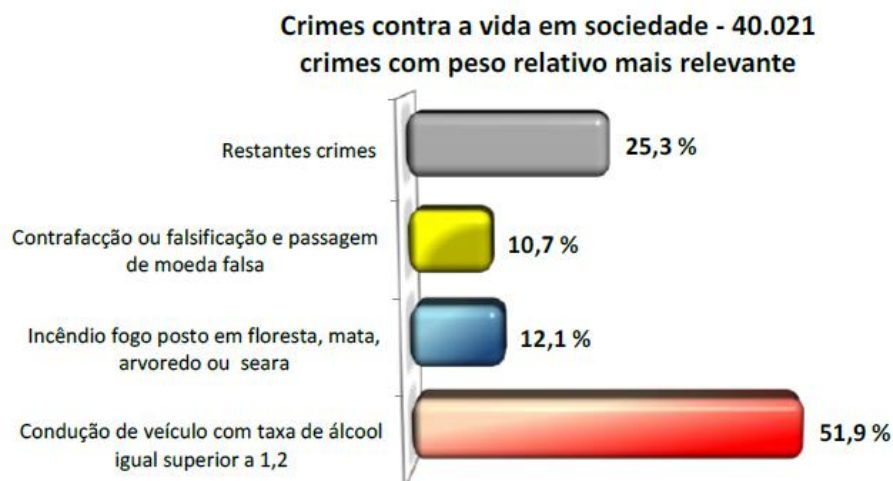


Figura 5 – Crimes mais relevantes contra a vida em sociedade (2013-2014) (RASI, 2014)

A nível humano, as consequências dos acidentes têm impacto a três grandes níveis: físico, psicológico e social. O sofrimento físico e psicológico, da própria vítima, consequência das lesões sofridas, afetam inevitavelmente as pessoas com quem a vítima convive, em especial aos mais próximos (familiares e amigos), tendo na morte a consequência mais grave dos acidentes de viação, uma vez que a vítima fica privada da concretização das suas expectativas de vida, de realização pessoal e profissional, de usufruir dos benefícios que a sociedade põe à sua disposição (Forma & Comum, IMT 2009, pag 34) .

(Z. H. Wong et al., 2004), analisou 10381 autópsias realizadas na *Centre for Forensic Medicine (CFM)* registadas entre janeiro de 2000 a 31 dezembro 2004, com vista a avaliar a epidemiologia dos acidentes de viação mortais em Singapura. Da análise resultou um total 1079 vítimas mortais resultantes de acidentes de viação em Singapura. A idade média das vítimas das vítimas foi de 36 anos. Entre os 24-55, encontram-se 78% das vítimas. A maioria das mortes envolveu múltiplas lesões, sendo que, os utentes com ≥ 60 anos tiveram 4 vezes mais possibilidades sofrerem um acidente mortal como peões. Os homens estavam em maior risco devido ao facto de utilizarem mais frequentemente os veículos motorizados de duas rodas, mas por outro lado, apresentaram um menor risco como peões e ciclistas.

(Abou-Raya & ElMeguid, 2009), com o objetivo de determinar o padrão de incidência de lesões na cabeça e pescoço resultantes de acidentes de viação, analisou registos de 6.709 pacientes com este tipo de lesão, internados no período de 2001 a 2006, no Qatar. Os dados para a elaboração do estudo foram fornecidos pelo *Accident and Emergency Department of the Hamad*. A maioria das vítimas não eram do local de internamento e o grupo era composto maioritariamente por homens (85,9%). Relativamente à faixa etária, 68,5% das vítimas situavam-se entre os 20-44 anos, sendo 44,9% condutores de automóveis, 37,3% passageiros, peões 10,5% e condutores de 2 rodas (motociclistas e ciclistas) 7,3%. Nos condutores, foram identificadas lesões ao nível da cabeça (44,5%) e do pescoço (46,5%). Já nos passageiros, os ferimentos foram sustentados um pouco mais na região do pescoço (38,7%) em comparação com cabeça (36,8%). Nos peões, a lesão na cabeça

(13,3%) foi mais frequente, enquanto nos condutores de veículos de 2 rodas foi no pescoço (12,6%).

Foi possível também determinar que 27,8% dos acidentes ocorreram durante o fim-de-semana e a maioria dos pacientes tinham lesões leves (87,2%), seguido de moderada (7,3%) e severa (5,5%). Houve diferenças significativas em relação à idade, nacionalidade, género e acidente durante fins-de-semana para os ferimentos da cabeça e pescoço.

Inerente à vulnerabilidade das crianças no meio rodoviário, (Anthikkat, Page, & Barker, 2013) recorreu à base de dados de *Austrália National Coroners' Information System* e elaborou um estudo com informação recolhida entre julho 2000 e dezembro 2010, com o intuito de investigar os fatores de risco sociodemográficos, entre outros, relacionados com acidentes envolvendo veículos de baixa velocidade. Num total 134 vítimas crianças australianas (0- 5 anos de idade) 82 casos foram fatais. Mais de três quartos dos acidentes ocorreram em contextos não comerciais, em especial as calçadas residenciais com veículos a fazer manobras ou a iniciar a marcha. Três quartos das vítimas tinham idade de 36 meses ou menos. A maior proporção de mortes ocorreu em áreas de menor nível socioeconómico. Quando o veículo estava a ser conduzido ativamente (77 casos), o motorista era conhecido da criança e em três quartos dos casos, mais especificamente, o pai era o condutor (32%).

(Kawato, Hitosugi, Mizuno, Matsui, & Tokudome, 2013) procurou determinar a gravidade das lesões para cada região do corpo de peões criança, atingidos por diferentes tipos de veículos. O estudo foi baseado em registos de 1993 a 2004, obtidos através do *Institute for Traffic Accident*, Japão. Das 63 colisões analisadas, resultaram 68 vítimas mortais (46 meninos e 22 meninas). Quarenta vítimas colidiram na parte da frente do veículo, 18 lateralmente e na parte traseira 4. As restantes 6 vítimas foram atropelados pelo veículo após a colisão inicial. *Sedans* foram os veículos com a taxa agressão mais comum e mais elevada, seguido por *Boxes* (10 veículos) e *SUVs* (10 veículos). Os autores referem como conclusão, que os resultados obtidos neste estudo podem ser úteis tanto para cirurgiões de trauma pediátrico, bem como, para engenheiros que procurem melhorar a sua compreensão das lesões provocados por atropelamentos e possam desenvolver *designs* de veículos mais eficazes na proteção dos peões.

(Hitosugi, Kawato, Gomei, Mizuno, & Tokudome, 2013), procurou esclarecer o padrão de lesão dos peões crianças, quanto ao tipo e gravidade da lesão e, sua relação com a velocidade de colisão, O estudo teve por base a recolha de dados recolhidos entre o período 1993 a 2004 no *Institute for Traffic Accident Research* do Japão. Quarenta e sete vítimas crianças até aos 13 anos resultantes de 43 colisões, foram incluídos neste estudo. A gravidade da lesão não foi significativamente diferente entre os pacientes que foram atingidos pela frente do veículo e aqueles que foram atingidos pela parte lateral do veículo. As colisões frontais, com o impacto do veículo foram significativamente associadas um maior aumento da lesão. Como resultados obtidos neste estudo, os autores recomendam a prestação de um programa de prevenção de lesões para crianças em comunidades e escolas, através do desenvolvimento e aplicação sistemas de segurança nos dispositivos do veículo e propõem a modificação da estrutura do veículo por forma a não ser tão agressiva para os peões crianças.

São também diversos os estudos que procuram associar as causas e lesões sofridas nos acidentes de viação, a outros grupos de utentes que pelas suas características, ficam mais expostos às

consequências dos acidentes: os peões, idosos e utilizadores de veículos de duas rodas.(Hefny, Eid, & Abu-Zidan, 2014) estudou a distribuição anatómica, gravidade e evolução do estado de saúde dos peões envolvidos a acidentes rodoviários, internados no hospital Al Ain, nos Emirados Árabes Unidos. A pesquisa foi elaborada com base nos dados disponibilizados pelo hospital com registos no período temporal de março 2003 a outubro 2007. Foram analisados registos de 1608 pacientes envolvidos em acidentes de viação e o autor tinha por objetivo criar uma linha de orientação no sentido de melhorar a aplicação das medidas preventivas. Foram estudados 318 (19.8%) pacientes atropelados, 279 (87,7%) eram do sexo masculino e o intervalo de idade foi de 1-75 anos. O membro inferior (57,2%) foi a região mais afetada, seguindo-se a cabeça (46,9%). Trinta pacientes morreram (mortalidade global de 9,4%) tendo sido a lesão craniana grave, a principal causa de morte. Concluiu o autor que a vulnerabilidade deste grupo de risco necessita de medidas preventivas para melhorar a sua segurança, uma vez que, a maioria dos pacientes feridos eram economicamente desfavorecidos e a deslocação a pé era o seu meio de locomoção.

(Abou-Raya & ElMeguid, 2009) durante 6 meses elaborou um estudo no Egipto, através de dados recolhidos *na Emergency and Traumatology Departments*, onde investigou um grupo de 258 vítimas mortais, com 65 ou mais anos. Com o objetivo de identificar e avaliar as causas e características dos acidentes de viação envolvendo idosos, analisou os padrões de lesão, com o intuito de aplicar medidas adequadas para a prevenção dos acidentes rodoviários envolvendo este tipo de utente. A média de idade da população estudada foi de 68.7anos. No geral, os homens tinham uma taxa de acidentes mais elevada, sendo a maioria das vítimas peões - 147 (57%). As restantes vítimas 67 (26%) eram condutores de automóveis, 35 (14%) passageiros, 7 (2.7%) ciclistas e 2 (0.7%) motociclistas. Em geral, os traumatismos cranianos estão na origem da maior parte dos ferimentos sofridos, principalmente entre os peões e ciclistas.

(Sylviane Lafont, Amoros, Gadegbeku, Chiron, & Laumon, 2008) recorreu à base *de Rhône County Hospital-based and police*", para investigar 961509 acidentes com vítimas ocorridos em França durante o período 1996 e 2004. O estudo decorreu entre novembro de 2005 a abril de 2006 e teve como objetivo quantificar a ameaça que os condutores mais velhos possam representar para os outros utentes. Os resultados sugerem que entre os utentes envolvidos em acidentes com lesão, os condutores mais velhos são menos perigosos para os outros utentes da estrada. Os autores referem ainda que este resultado não se pode descorar o facto de este tipo de condutor já ter algumas das suas capacidade psicofísicas diminuídas, mas os resultados mostram que é difícil encontrar critérios relevantes para justificar a introdução ou a manutenção de procedimentos avaliativos que restringem atividades de condução deste grupo etário de condutores.

(Kaimila, Yamashina, Arai, & Tamashiro, 2013) através do instituto *Japan Ministry of Health* analisaram estatísticas de acidentes rodoviários envolvendo vítimas idosas e jovens, ocorridos no Japão entre 2000 e 2010 e, concluíram que as taxas de acidentes fatais por milhão de habitantes entre ciclistas e peões diminuíram em todos os grupos etários, mas foram maiores no grupo etário de idosos em todos os anos; a taxa de acidente fatal anual para peões idosos é 3 a 10 vezes maior do que para os peões mais jovens. Em conclusão, apesar da diminuição global nos acidentes envolvendo idosos e as taxas de acidentes fatais em todas as categorias por utente rodoviário terem diminuído, os peões idosos são mais suscetíveis a sofrer acidentes de viação e são mais propensos a morrer do que os mais jovens.

(Blaizot, Papon, Haddak, & Amoros, 2013) estudaram em França, a comparação do risco de lesão para o utilizador da bicicleta, com os utilizadores de outros meios de transporte. O estudo teve com intervalo temporal o ano de 2005 a 2008 e os registos foram obtidos através de bases de dados policiais e do hospital de *Rhône Condado de Rhône*. Os condutores de motociclos e ciclomotores, tiveram as maiores taxas de todos os ferimentos, hospitalização, lesão grave e mortalidade, seguido dos ciclistas e, por último, os peões e ocupantes de veículos automóveis. As taxas entre homens e mulheres pareciam semelhantes entre peões e ocupantes de automóveis. Para os ocupantes de automóveis, peões e ciclistas, as faixas etárias 18-25 e ≥ 65 anos apresentaram uma maior taxa de lesão comparados com o grupo etário 25-65 anos. Os autores identificaram os condutores de veículos motorizados de 2 rodas como sendo o grupo que apresenta maior risco de lesão em caso de acidente de viação na área de estudo.

(Dandona, Kumar, Raj, & Dandona, 2006) estudou e descreveu padrões de acidentes de trânsito numa população de peões e utilizadores de veículos de duas rodas motorizados em Hyderabad na Índia. Através de dados recolhidos com a elaboração de um inquérito a 4.019 peões e 4.183 condutores, obteve um total de 1513 utentes envolvidos em acidentes de viação. 1264 (83,5%) utilizadores de veículos motorizados de duas rodas, em que, 973 (64,3%) tinham idades compreendidas entre 21-40 anos. Das 1306 pessoas que tiveram lesões e sobreviveram, 174 (13,3%) foram tratados como pacientes, 38 (2,9%) não puderam voltar totalmente à rotina atividades diárias, 630 (48,2%) despediu-se de sua ocupação regular, e 13 (1%) perderam o emprego na sequência da lesão. A caracterização das causas, e os resultados obtidos no estudo, são sugeridas pelo autor como auxílio na identificação de intervenções para melhorar e monitorar a eficácia das intervenções em segurança rodoviária na Índia.

(Töro, Hubay, Sótonyi, & Keller, 2005) , através do *Department of Forensic Medicine in Budapest- Hungria*, obteve dados de 1999 a 2001, que lhe possibilitou investigar as características das lesões de peões e ciclistas (sem proteção), em comparação com os ocupantes de veículo (protegidos) em acidentes de viação fatais. Numa análise de 664 vítimas mortais, 457 (69%) eram do sexo masculino e 207 (31%) do sexo feminino. As faixas etárias de 20-29 anos (16,4%) e 50-59 anos (16,4%) tiveram a maior número de mortes. Foram encontradas diferenças significativas nos ferimentos da cabeça entre os grupos desprotegidos e protegidos: fratura do crânio (61%, 46%); contusão cerebral (57%, 40%); hemorragia epidural (5,5%, 1%); hemorragia subdural (21%, 11%), respetivamente. Peões e ciclistas sofreram mais lesões de membros inferiores do que os ocupantes do veículo a motor (33%, 24%), e (48%, 30%), respetivamente. Os ocupantes de veículos sofreram danos, principalmente, ao nível do tórax e abdominal como a contusão cardíaca, hemotórax, laceração do tórax, aorta e rutura do fígado.

2.3 Enquadramento Legal e Normativo

Segundo a ANSR, entende-se como acidente de viação, todo o acidente que reúna as seguintes condições:

- Ocorra ou tenha origem numa via pública ou via equiparada (via do domínio privado aberta ao trânsito publico);

- Em consequência do qual uma ou várias pessoas tenha (m) morrido ou ficado ferida (s), ou tenha havido danos materiais;
- Que envolva pelo menos um veículo em movimento;

São consideradas colisões entre 2 ou mais veículos, veículos e peões, veículos e animais ou veículos e obstáculos, os acidentes que envolvem apenas um veículo, bem como, os acidentes resultantes de tentativas de suicídio. Não são considerados os acidentes em vias ou áreas privadas sem acesso ao trânsito público, os acidentes resultantes de suicídios confirmados, exceto se tiverem causado lesões e/ou danos a terceiros, os acidentes provocados por causas naturais (ex.: doença/morte súbita do condutor) exceto se tiverem causado lesões e/ou danos a terceiros assim como, os homicídios.

A vítima resultante dos acidentes de viação é o ser humano que em consequência deste sofra danos corporais. Estão incluídos nesta classificação todas as pessoas que ficam lesionadas ao entrar ou sair do veículo e são atingidas por outro veículo, vítimas resultantes de tentativas de suicídio e ainda as pessoas que ficam lesionadas ao cair de veículo (ex.: queda de velocípede).

Não estão incluídos os ocupantes de veículos em movimento que sofrem lesões por motivos não relacionados com a ocorrência de acidente (ex.: passageiro de um autocarro que se magoa em consequência de uma manobra), as pessoas que ficam lesionadas ao entrar ou sair do veículo sem ser devido a outro veículo (ex.: pessoa que cai ao descer do autocarro), assim como vítimas mortais ou feridos provocados por causas naturais (doença/morte súbita) ou suicídios confirmados.

Segundo a mesma fonte, as vítimas resultantes dos acidentes de viação são classificadas em função da sua gravidade e da seguinte forma:

- Morto/Vítima mortal (24 horas) – Vítima cujo óbito ocorra no local do acidente ou durante o percurso até à unidade de saúde.
- Morto/Vítima mortal a 30 dias (Vítima cujo óbito ocorra no local do acidente ou nos 30 dias imediatos)
- Ferido grave – Vítima cujos danos corporais obriguem a um período de hospitalização superior a 24 horas e que não venha a falecer no período de 30 dias após o acidente.
- Ferido ligeiro/leve – Vítima que tenha sofrido ferimentos que não impliquem a sua hospitalização ou cuja hospitalização tenha sido inferior a 24 horas e que não venha a falecer no período de 30 dias após o acidente.

Quando há ocorrência de acidente de viação, e é do conhecimento das entidades fiscalizadoras (GNR e PSP), é preenchido o Boletim Estatístico de Acidentes de Viação (BEAV) tendo em vista recolher elementos essenciais que permitam retratá-lo o mais exatamente possível. O BEAV é um instrumento de notação estatística sendo a principal fonte de informação sobre o fenómeno da sinistralidade rodoviária, servindo de suporte ao diagnóstico da situação nacional neste domínio específico, à avaliação das medidas adotadas, à investigação, à realização de comparações internacionais e à definição de programas e estratégias visando melhorar a segurança rodoviária a nível nacional e local (Tobergte & Curtis, 2013).

2.3.1 Reconstituição científica dos acidentes de viação em Portugal.

Há várias perguntas que devem ser respondidas durante a reconstituição de um acidente de viação. Perceber o sucedido antes, durante e depois de um acidente é tentar fornecer informações completas sobre o movimento de todos os veículos, pessoas ou de objetos envolvidos desde o ponto inicial até o ponto de repouso (Lacey, 1982). Segundo o mesmo autor, uma regra geral na reconstituição de qualquer acidente, deve ter em conta alguns dos mais importantes dados recolhidos no local, podendo ser resumidos da seguinte forma:

- Posições de imobilização dos veículos e/ou vítima;
- Marcas de travagem no piso;
- Danos dos veículos e outros objetos;
- Lesões sofridas por condutores e/ou ocupantes;

Segundo (Ricardo & Lopes, 2014) a investigação dos acidentes por parte das autoridades, mais especificamente o Núcleo de Investigação Criminal de Acidentes de Viação da GNR (NICAV), tem vindo a assumir um papel fulcral na responsabilização dos intervenientes, na medida em que estas investigações são uma importante base de apoio às decisões tomadas pelos magistrados na resolução dos processos que advêm deste fenómeno.

No entanto, e segundo os mesmos autores, o conhecimento científico por partes de outras entidades externas às forças de segurança, pode ser uma mais-valia no processo da reconstituição dos acidentes, pois cada vez mais, determinadas instituições possuem meios e ferramentas de trabalho mais sofisticados, apresentando resultados cada vez mais rigorosos e credíveis.

Com base na experiência e histórico que existe no Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), e no Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI), foi criado um Centro Pericial (CENPERCA) capaz de agregar as competências e ferramentas especializadas, que permitem solucionar de uma forma expedita e estruturada os casos relacionados com acidentes nas mais diversas matérias.

O CENPERCA tem ao seu dispor ferramentas especializadas de vídeo, ótica, atrito, radares, sistemas não tripulados e acesso a laboratórios multidisciplinares da FEUP e do INEGI. Conta ainda com colaboração de especialistas em diversas áreas de engenharia, dando assim um forte contributo para a promoção e apoio de atividades de investigação e desenvolvimento, recorrendo à interdisciplinaridade para a valorização dos resultados.

Ao longo da sua existência, sensivelmente mais de metade dos acidentes investigados pelo CENPERCA estão relacionados com acidentes de viação. Os acidentes de viação e a sua reconstituição científica são portanto uma parte importante do trabalho realizado pelo Centro Pericial de Acidentes, e a determinação da dinâmica do acidente e respetivos danos, são uma importante fonte documental, que permite compilar informação relativa à causalidade de um acidente de viação com o objetivo de prevenir e sensibilizar os utilizadores da via pública.

2.4 Conhecimento Científico

2.4.1 Revisão sistemática com metodologia PRISMA

Com o objetivo de avaliar a informação disponível ao nível científico sobre a reconstituição de acidentes de viação, foi feita uma revisão sistemática empregando a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA).

A pesquisa foi realizada durante o mês de abril de 2016, através bases de dados eletrônicas disponíveis na FEUP, nomeadamente: *Academic Search Complete*; *Business Source Complete*; *Science Direct*, *SCOPUS*; *Web of Science*; *Psycarticles*; e através das seguintes revistas científicas: *Informaworld (Taylor and Francis)*; *Science Direct (e journals)*. Com o objetivo de otimizar a pesquisa, foram utilizadas as seguintes palavras-chave, combinadas da presente forma:

Traffic Accident/Collision; Traffic Accident/ Pedestrian; Traffic Accident/ Accident Reconstruction; Traffic Accident/ Forensic Investigation; Collision/Pedestrian; Collision/Accident Reconstruction; Collision/Forensic Investigation; Pedestrian/Accident Reconstruction; Pedestrian/ Forensic investigation.

As pesquisas das diversas combinações foram analisadas em todas as bases disponíveis recorrendo ao operador booleano AND.

Os artigos só são considerados elegíveis se cumprirem os seguintes requisitos previamente estabelecidos:

- Artigos disponíveis em texto integral (*full-text article*);
- Artigos que indiquem o nome do autor, título e ano de publicação;
- Artigos disponíveis em Inglês, Português de Portugal ou Português do Brasil;
- Artigos que cumpram as normas da metodologia Prisma;
- Artigos que apresentem dados, instrumentos e metodologias capazes de otimizar a reconstituição científica de um acidente de viação;

De um total de 2266 artigos, 283 resultaram da pesquisa obtida em revistas científicas e 1983 obtidos através de base de dados. (Tabela 9)

Os artigos inicialmente identificados foram selecionados pelo título e resumo e, posteriormente, divididos segundo um critério de importância. (Tabela 10). Na segunda fase da pesquisa foram analisados os textos integrais e selecionados os mais relevantes para a elaboração do presente estudo.

Tabela 9 – Recursos e número de artigos da pesquisa bibliográfica

Recurso	Nº de Artigos	Total
Bases de dados		283
<i>Academic Search Complete</i>	88	
<i>Business Source Complete</i>	34	
<i>Science Direct</i>	131	
<i>SCOPUS</i>	1172	
<i>Web of Science</i>	554	
<i>Psycarticles</i>	4	
Revista Científicas		1983
<i>Informaworld (Taylor and Francis)</i>	164	
<i>Science Direct (e journals)</i>	119	
Total de Artigos		2266

Foram eliminados 26 por não cumprirem os critérios de inclusão, 629 não abordavam o tema da sinistralidade rodoviária, 556 eram duplicados, 1041 abordavam o tema, mas não eram relevantes para o estudo ou estavam indisponíveis, obtendo um resultado final de 14 artigos relevantes para a pesquisa bibliográfica.

Na Tabela 10 pode observar-se a distribuição dos artigos analisados segundo o critério de importância que lhe fora atribuído: 0- excluídos por não cumprirem os critérios de inclusão; 1- não abordam o tema da sinistralidade rodoviária; 2- duplicados; 3 - abordam o tema da segurança rodoviária mas não relevantes para o estudo ou indisponíveis; 4- relevantes para o estudo.

Tabela 10 - Critério de exclusão e inclusão dos artigos da pesquisa bibliográfica

	Critério	Nº de Artigos
0	Excluídos	26
1	Não abordam o tema	629
2	Duplicados	556
3	Não relevantes para o estudo ou indisponíveis	1041
4	Relevantes para o estudo	14
Total		2266

Depois de um acidente de viação, o levantamento dos vestígios e o seu correto mapeamento é um procedimento fundamental para todo o processo de investigação e reconstituição do acidente. No entanto, os métodos tradicionais para medir e mapear têm algumas limitações. (Su et al., 2016) Nas últimas décadas, os investigadores forenses, técnicos e polícia têm ao seu dispor várias ferramentas de medição para investigação de acidentes de trânsito, incluindo fitas de medição, dispositivos de medição a laser, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e fotogrametria. Contudo são apresentados alguns constrangimentos na utilização de alguns destes dispositivos, como por exemplo, a ocupação da faixa de rodagem para um longo período de tempo, o custo elevado dos dispositivos de medição e envolvimento de uma grande equipa de investigadores. (Su et al., 2016). Com o intuito de estudar as vantagens da utilização de aparelhos aéreos não tripulados

(drones), (Su et al., 2016) efetuou um estudo através do qual concluiu que os resultados obtidos pela utilização deste tipo de equipamentos são precisos e serão no futuro uma boa alternativa aos métodos tradicionais, principalmente no que diz respeito à otimização do tempo despendido na recolha de informação, principalmente em acidentes bastante complexos. No estudo apresentado o autor expõe uma comparação entre dois métodos (elaboração de croqui e recolha de fotografia aérea) aplicados num acidente real em autoestrada, como é possível observar na Figura 6.

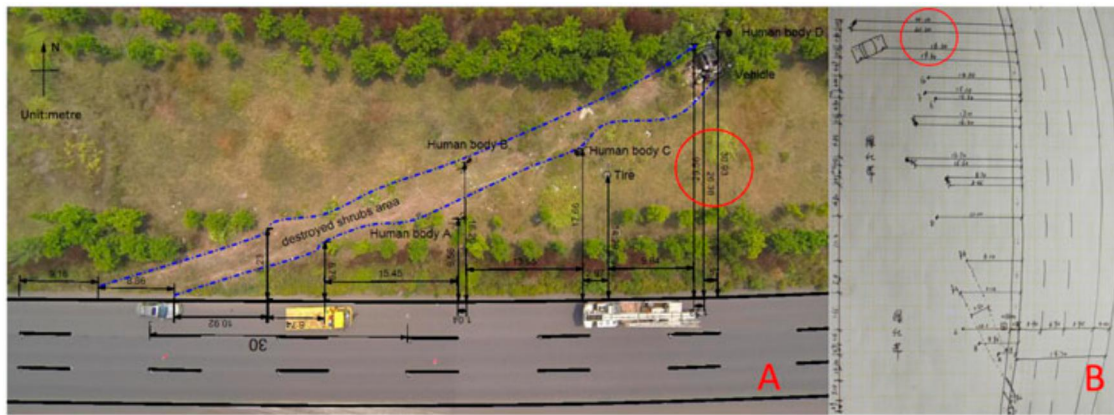


Figura 6 – Mapeamento dos vestígios recolhidos por aparelhos aéreos não tripulados

A necessidade da correta recolha dos vestígios resultantes dos acidentes de viação é também referido por (Kim, et al., 2012), como uma condição imperiosa para todo o processo de reconstituição de um acidente. Num estudo efetuado por este autor, foi proposta a aplicação de métodos de recolha de informação, através das técnicas de fotografia e scâner 3D. No artigo são apresentados dois métodos distintos, um através do uso de fotografias e posteriormente transformá-las em imagens 3D e outro através do uso de scâner e obtenção direta de uma imagem 3D.

A opção de fotografia tem como principal vantagem o uso fácil e de baixo custo, no entanto, o uso de um scâner, possibilita ao investigador mover, rodar e anexar fragmentos dos veículos envolvidos no acidente, permitindo desta forma reconstruir um modelo 3-D de colisão muito próximo da realidade, como é possível observar na Figura 7.

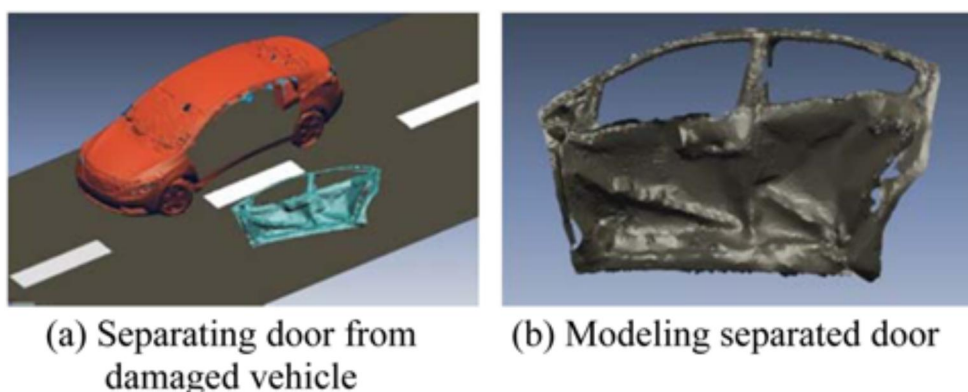


Figura 7 – Imagens 3-D resultantes da deformação de veículos automóveis

(Zhang, Jin, Qi, & Guo, 2008) propõem uma nova técnica para reconstituir acidente através da combinação do método de elementos finitos e redes neurais, procurando desta forma dar resposta à dificuldade imposta na reconstituição de acidentes sem marcas de travagem. A deformação do veículo é usada como elemento fundamental para a determinação da velocidade de impacto e uso de redes neurais usadas para mapear a relação entre o parâmetro inicial e deformação, pode reduzir os ciclos de simulação, otimizando o tempo da investigação. A metodologia é aplicada em comparação com acidente real e os resultados obtidos são vistos pelos autores como uma mais-valia para a criação de uma base científica de análise de acidentes, principalmente quando não é possível determinar as marcas de travagem.

(Lacey, 2009) elaborou um estudo com vista apresentar uma visão geral de metodologias desenvolvidas para estudar a reconstituição dos acidentes de viação. Ao longo do estudo, o autor procura demonstrar que através da utilização de modelos de cálculos simplificados é possível obter resultados bastantes aproximados da realidade da dinâmica do acidente, bem como, dos danos nos veículos envolvidos. No entanto, refere igualmente, que a otimização dos resultados deve ser baseada cada vez mais em documentação e técnicas altamente avançadas, com informações mais detalhadas sobre a rigidez estrutural dos carros modernos e do seu comportamento de deformação. Salienta ainda, a importância da integração da informação obtida no local do acidente através da utilização de lasers de varrimento. Segundo o autor, a utilização de filmagens dos acidentes produzidos por câmaras de observação proporciona outro desafio na reconstituição do acidente, embora a reconstituição de tais acidentes pareça óbvia e simples, a determinação de alguns parâmetros, como a análise de velocidades, representa um grande desafio para os especialistas nesta matéria. A implementação e desenvolvimento de novos métodos devem ser baseados numa perspetiva de inclusão das várias ferramentas que permitam otimizar a reconstituição do acidente.

O uso de câmaras digitais, telemóveis e gravadores de vídeo de carro são cada vez mais frequentes nos veículos automóveis. O uso destes dispositivos no auxílio à reconstituição dos acidentes, foi estudado por (T. W. Wong et al., 2014), com o objetivo de determinar as velocidades praticadas pelos condutores, recorrendo às filmagens de vídeo.

O método proposto prevê que a partir de um comprimento fixo do veículo em causa, como a distância entre eixos ou o comprimento da caixa de carga de um veículo pesado, são suficientes para determinar a velocidade do veículo, desde que, o tempo decorrido entre o par de imagens capturadas seja correto. É referido pelo autor, que a apesar das distorções das imagens capturadas terem um impacto negativo na determinação das velocidades, as discrepâncias em termos absolutos são inferiores a 1,5 %, o que permitirá utilizar este método em exames forenses.

As ferramentas de simulação computacionais são cada vez mais procuradas e testadas pelos investigadores de reconstituição de acidentes. São diversos os *softwares* desenvolvidos e avaliados através da aplicação de dados de acidentes reais. (Gobbi, Mastinu, & Previati, 2013) estudaram a influência das propriedades da massa de um veículo num acidente de viação. Para realização do estudo, foi apresentado um caso de colisão entre dois veículos automóveis, com o objetivo de definir quais as propriedades de massa que devem ser prescritos para obter uma reconstrução precisa do acidente.

Divido em duas partes, o estudo apresenta inicialmente um modelo matemático, e a sua validação, capaz calcular adequadamente o movimento dos veículos antes e depois do acidente. Este modelo

é assente em dados que são normalmente recolhidos depois do acidente pelos investigadores. Sendo os locais finais dos dois veículos envolvidos conhecidos, o procedimento matemático pode ser utilizado para identificar a velocidade dos veículos, antes do impacto, assim como a identificação dos parâmetros mais importantes que influenciam o movimento do veículo durante e depois do impacto, como por exemplo as marcas dos pneus na estrada e as deformações dos veículos.

Na segunda parte, a análise teórica mostra que para efetuar uma reconstituição precisa do acidente é necessário obter com exatidão medições da localização do centro de gravidade, bem como, dos momentos de inércia dos automóveis acidentados. Segundo os autores, um pequeno erro de 10% sobre o valor estimado do momento de inércia de um carro ou de um erro de 100 mm na localização do centro de gravidade pode conduzir a erros de cerca de 20% nas velocidades determinadas dos dois veículos antes do acidente. Tendo em conta estes resultados, é apresentada uma plataforma de teste existente para medir o centro de gravidade e o tensor de inércia de veículos acidentados (pré e pós-impacto). Para validar o processo, foram apresentados pelo autor alguns casos de acidentes reais, com vista a identificar de forma precisa a posição final dos veículos e as respetivas velocidades antes do impacto.

(Prentkovskis, Sokolovskij, & Bartulis, 2010) realizaram um estudo com base no *software* de simulação de acidentes Pc-Crash, com o objetivo de analisar as mudanças na direção do movimento de veículos automóveis em caso de uma colisão e perceber quais os fatores que contribuíam para o desenvolvimento das trajetórias dos veículos nas diferentes fases do acidente. Foram consideradas neste estudo, 4 tipos de colisões, determinadas pelas posições e velocidades de pré-impacto dos veículos, nomeadamente colisões frontais, perpendiculares, oblíquas e de veículos que circulam no mesmo sentido.

Recorrendo aos diagramas de velocidades e distâncias obtidos pelo *software*, foi possível concluir que há uma grande diferença entre as deslocações dos veículos quando o embate ocorre ao circularem no mesmo sentido, relativamente às colisões frontais. Este resultado, segundo os autores, pode ser explicado pelo facto de que uma parte da energia ser dissipada na desaceleração provocada pela colisão entre os dois veículos. Foram identificadas também maiores deformações nas carroçarias quando as colisões são frontais, relativamente aos outros tipos de colisão.

Atendendo às dificuldades de recolha de informação no local do acidente, nomeadamente as marcas de travagem, (Xu, Li, Lu, & Zhou, 2009) efetuaram um estudo com o objetivo de desenvolver uma metodologia capaz de determinar a velocidade de impacto num atropelamento, através da deformação dos vidros de pára-brisas dos automóveis provocados pelo embate da cabeça dos peões. A metodologia é validada com o estudo de dez acidentes reais, sendo os resultados apresentados comparados com os calculados a partir de marcas de travagem determinadas por velocidades exatas.

Com os resultados obtidos, os autores sugerem a aplicação da metodologia como uma boa solução para os especialistas que efetuam reconstituição de acidentes de viação envolvendo embates entre veículos automóveis e peões. No entanto, os autores referem também, que o modelo pode não ser adequado para calcular a velocidade de impacto em acidentes de colisão a alta velocidade, bem como, a pertinência para a verificação do ponto de impacto seja causada pela cabeça.

A reconstituição de acidentes de viação envolvendo peões é uma das tarefas mais vulgarmente atribuídas a peritos judiciais e investigadores de segurança rodoviária (Vangi, 2009). Segundo o mesmo autor, a determinação da velocidade de impacto é o parâmetro mais relevante a ter em conta para determinar toda a dinâmica do acidente. Com base neste pressuposto, apresentou uma metodologia capaz de determinar a velocidade de impacto entre um veículo e um peão, calculada simplesmente com base em alguns dados, fáceis de recolher no local do acidente. É uma abordagem com base no movimento dos peões pós-impacto, mas em que parâmetros utilizados levam em consideração a configuração completa da colisão, considerando sempre o veículo e peão.

A metodologia foi testada e validada tendo em conta mais de 1000 ensaios, experimentais e simulação. Os cálculos foram determinados por meio de um algoritmo genético, testado com um conjunto de dados numéricos extraídos dos dados de testes de colisão e com dados de simulação de corpos múltiplos, que cobrem toda a gama de variação e todas as combinações possíveis. Esta abordagem possibilita reconhecer os três tipos mais comuns de trajetórias em atropelamentos e reconstituir o acidente, cometendo um erro estimado de apenas 3 Km/h, sobrepondo-se a outros resultados obtidos pelos modelos analíticos ou empíricos. A abordagem apresentada foi implementada num programa de *software* e sugerida pelo autor, com uma boa solução para a sua aplicação na reconstrução de atropelamentos.

A velocidade de impacto exercida pelo carro sobre o peão pode levar a graves lesões ou até mesmo à morte deste. Pelo contrário, o veículo é menos afetado em comparação com as colisões entre veículos. Num estudo realizado por (Weng, Jin, Zhao, & Zhang, 2010) foi apresentada uma metodologia, em que a lesão dos peões é o índice crítico para determinar o resultado da reconstrução do atropelamento e orientação do processo de simulação. O processo do presente método tem por base a reconstituição do acidente através da lesão, como é demonstrado na Figura 8.

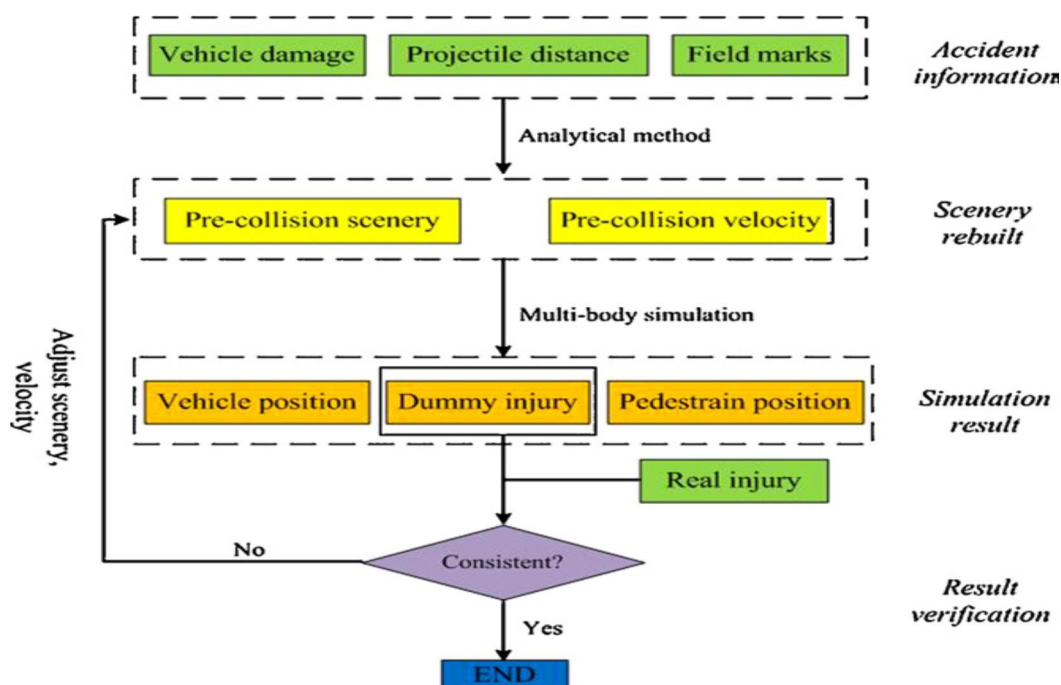


Figura 8 – Método da reconstituição do acidente através da lesão corporal

Combinando o método analítico em conjunto com os procedimentos de simulação, é proposta uma linha de reconstrução com base no dano corporal do peão. As lesões são investigadas e quantificadas, e são atribuídos fatores de ponderação específicos.

Tendo em conta as conclusões obtidas no estudo, o autor concluiu que apesar do método de reconstrução proposto produzir um resultado considerável na reconstituição do caso real apresentado, há limitações no método que podem limitar a sua aplicação, como por exemplo a simplificação da postura de pré-impacto do peão. No caso apresentado, o peão assume uma postura fixa antes do acidente, enquanto, na realidade, ele ou ela podem estar a andar ou a correr. Esta simplificação pode levar a desvio dos resultados, uma vez que, a biomecânica do manequim (utilizado do banco de dados do software MADYMO) sob diferentes posturas são supostamente diferentes. Outro fator que este documento não faz referência é a variação biomecânica de cada indivíduo. Conhecendo as limitações deste estudo, os autores sugerem que no futuro será necessário descobrir e integrar os parâmetros que terão impacto no resultado da simulação.

Com a finalidade de determinar a trajetória de um peão e a velocidade colisão de um veículo envolvido num atropelamento, (Kim, et al., 2012) desenvolveram uma ferramenta capaz de reconstituir dinâmica do acidente com base em dados obtidos a partir de um local ou através de uma análise de simulação bastante aproximada. Nesta metodologia é possível que os parâmetros de entrada tenham em conta subidas, vias planas ou descidas. No desenvolvimento da validação e conceção da ferramenta proposta, foram utilizados dados de testes experimentais de acidentes e colisões reais, mas também 390 casos complementados por meio de simulação de computador. A ferramenta desenvolvida deduz a trajetória do peão e a velocidade de colisão seguindo um princípio de aplicação baseado em 2 regras. As regras são organizadas em 2 fases, sendo a primeira desenvolvida para identificar a trajetória do peão e a segunda traçada para determinar a velocidade de colisão do veículo. Desenvolvida para ter uma margem de erro aceitável de 1,4 m/s (5,1 km/h), em média, a ferramenta foi implementada num programa de computador e validada por comparação com os dados empíricos e de simulação em computador. Tendo em conta as conclusões do estudo, para que este modelo possa ser mais eficiente e confiável, os dados dos acidentes devem ser o mais precisos possíveis e organizados em bancos de dados de fácil acesso para fins de pesquisa. Desta forma, as melhorias na conceção da ferramenta proposta, deverá ter conta a introdução de parâmetros que incluam as condições ambientais locais, fatores sazonais e dados demográficos para veículos e peões, aumentando a sua gama de aplicabilidade e precisão global.

(Sokolovskij & Prentkovskis, 2013) desenvolveram uma metodologia com o objetivo de ser utilizada no apoio à reconstrução técnica de acidentes de viação, mais precisamente nos atropelamentos. Após determinar a velocidade do veículo e a trajetória do peão, os autores analisam a possibilidade que o condutor tinha para evitar o embate com o peão. Os métodos de cálculo utilizados são efetuados tendo em conta dois momentos distintos, o momento que antecede o embate onde condutor ainda não realizou a travagem e o segundo momento é calculado em função da distância de travagem, tendo para isso em conta a posição do peão na via. Na investigação efetuada, é apresentado um estudo de caso com um acidente real, concluindo que a metodologia poderá ser vista como uma ferramenta útil no apoio à reconstrução técnica de atropelamentos.

Um elemento chave do estudo da biomecânica das lesões dos peões envolvidos em atropelamentos é a determinação da velocidade do veículo pré-impacto. As distâncias de projeção do peão são por vezes utilizadas para determinar a velocidade de colisão, especialmente na ausência de marcas de travagem ou quando estas são difíceis de detetar, como por exemplo, quando os veículos são equipados pelo sistema ABS. Num estudo elaborado por (Simms, Walsh, & Wood, 2004), os autores apresentam dois modelos validados para uso de análise estatística, em que são apresentadas valores tabelados com graus de confiança bastante elevados, através dos quais é possível estimar as velocidades de colisão, para peões criança ou adultos.

Os acidentes envolvendo utilizadores vulneráveis são altamente complexos, devido aos muitos graus de liberdade envolvidos nos peões e ciclistas / bicicletas (Carter & Neal-Sturgess, 2009). Com o intuito de estudar a possibilidade de reconstituir acidentes deste género através da simulação computacional, (Carter & Neal-Sturgess, 2009) recorreram ao *software* MADYMO com o objetivo de analisar quais as vantagens da utilização desta ferramenta na investigação dos acidentes de viação envolvendo automóveis ligeiros e ciclistas.

Os parâmetros de entrada foram determinados pelo conhecimento das condições iniciais de acordo com relatórios da polícia, incluindo marcas de veículos, marcas de travagem, bem como, as declarações das testemunhas. Após efetuada a simulação computacional, os autores compararam os dados obtidos com os resultados da investigação do acidente em estudo, tendo concluído que o grau de correlação entre os dois era bom para o impacto inicial com o veículo, mas diminuiu ligeiramente na parte final da simulação. Relativamente às lesões sofridas pelo ciclista, foi encontrada uma boa correlação para a maioria das lesões, particularmente aquelas que resultaram do impacto inicial com o veículo, no entanto, o modelo apresenta algumas dificuldade em quantificar a gravidade e significado das múltiplas lesões no resultado final.

3 OBJETIVOS E MÉTODOS

3.1 Objetivos

O objetivo geral desta investigação é perceber em que medida a determinação das causas dos acidentes de viação através da reconstituição científica, contribui para a adoção de medidas de prevenção rodoviária.

Com o intuito de alcançar a resposta á questão central, foram delineados os seguintes objetivos específicos intermédios:

- Quais os instrumentos disponíveis que permitem auxiliarem a investigação na recolha de informação.
- Quais os métodos e aplicados na reconstituição científica que permitem a recriação do acidente, determinando as suas causas.
- Qual o contributo que a simulação computacional trará na determinação das medidas prevenidas a implementar na segurança rodoviária.

3.2 Métodos

Para elaboração deste estudo são apresentados dois casos práticos, com vista a apresentar resultados que possam responder à questão central da investigação. No primeiro caso, foi feito um levantamento dos processos analisados e trabalhados no CENPERCA, tendo sido selecionados dois casos distintos que permitissem apresentar dois acidentes de viação com características diferenciadas, nomeadamente uma colisão entre dois automóveis ligeiros e um atropelamento. O objetivo de reconstituição destes dois acidentes é aplicar duas metodologias de reconstituição de acidentes de viação distintas, uma através de cálculos analíticos e outra através da simulação computacional. Para manter a necessária confidencialidade, não serão apresentadas quaisquer identificações dos diversos intervenientes e marcas de veículos.

No segundo caso prático, foram efetuadas duas simulações computacionais envolvendo o mesmo acidente de viação mas em dois meios envolventes distintos. O primeiro ocorre num túnel com características idênticas à do túnel do Marão e o segundo, em comparação, numa autoestrada com as mesmas dimensões e características do túnel, no entanto apenas com raies a delimitar as vias. Para este estudo recorreu-se ao programa de simulação Pc-Crash, com o intuito de perceber quais as diferentes dinâmicas e consequências do mesmo tipo de acidente, mas em duas vias com delimitações diferentes.

3.3 Casos práticos de Reconstituição Científica de Acidentes

A reconstituição científica do acidente e a elaboração de um relatório pericial compreendem diversas fases e são delineadas em função do pedido que é apresentado ao CENPERCA. No entanto, há procedimentos comuns a todos os processos, que permitem delinear uma metodologia de investigação coerente e de valorização dos resultados apresentados na reconstituição.

3.3.1 Colisão entre veículos

O 1º caso em estudo é uma colisão entre dois automóveis ligeiros, num cruzamento (Figura 9) e onde resultam danos materiais nos dois veículos e uma vítima mortal, o condutor de um dos veículos.

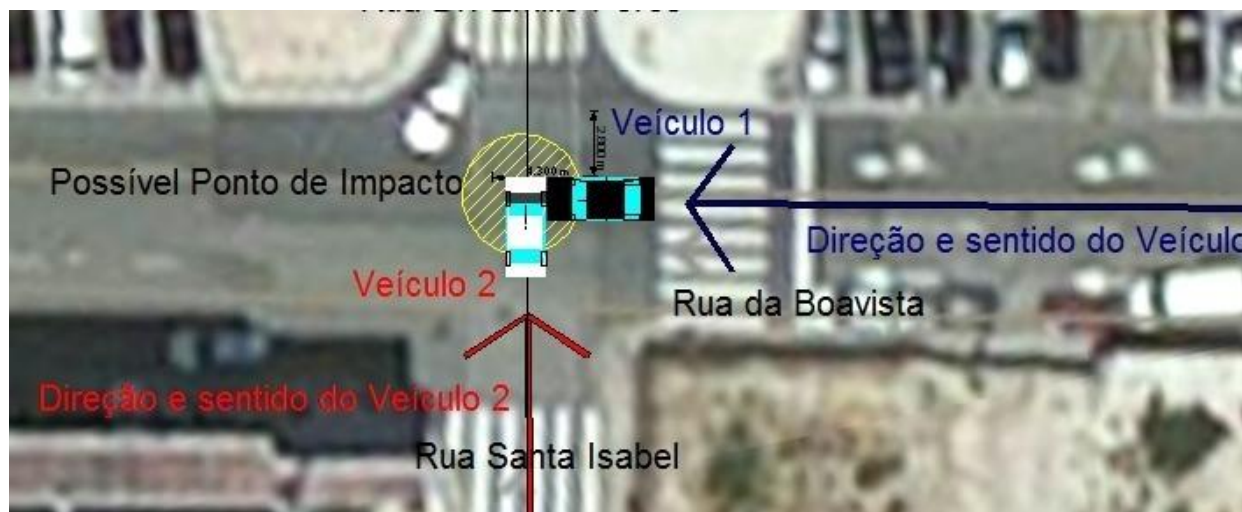


Figura 9 – Local provável de embate da colisão

Para análise deste processo, serão descritas todas as etapas e procedimentos realizados com vista à investigação e apresentação das conclusões obtidas.

1- Acesso ao processo: normalmente o processo encontra-se fase de julgamento. Mediante o solicitado, é efetuada a primeira perícia, procura-se nesta fase obter todos os dados que permitam recriar todo o cenário do acidente. Todos os dados recolhidos são posteriormente analisados e estudados por forma a delinear a melhor estratégia para responder ao pedido formulado. Após a leitura do processo, é necessário verificar se os dados existentes são suficientes ou se é necessário ouvir os intervenientes (autores, testemunhas, advogados ou intervenientes que se julgue necessário auscultar) e efetuar diligências.

A identificação dos condutores é dos primeiros procedimentos a efetuar. São necessários dados relativos à idade, peso, ao estado físico e psicológico, saber se estavam sob o efeito de álcool ou psicotrópicos, se estavam habilitados a conduzir o veículo em causa, são informações indispensáveis para realização de todo o processo.

2- Registos fotográficos: os registos fotográficos do local e dos veículos intervenientes no acidente são essenciais para determinar as causas e consequências dos acidentes, bem como, são um instrumento fundamental para determinar as posições dos veículos e os locais prováveis de embate.

3- No caso em estudo, como resultou uma vítima mortal foi elaborada uma investigação da Polícia de Segurança Pública (PSP). Esta investigação fornece à posteriori informações necessárias para

a elaboração do relatório pericial (depoimentos, registo fotográfico e croquis), assim como, da reconstituição dinâmica do acidente através do método computacional utilizando o *software PC-CRASH*.

4- Veículos envolvidos – a colisão em estudo ocorreu entre dois automóveis, sendo necessário identificar as características relevantes para o estudo como a marca, massa do veículo, modelo, ano de fabrico e, se for possível, apurar o estado em que se encontravam antes do acidente. Se os veículos não tiverem sido reparados à data da elaboração do relatório, é importante efetuar uma inspeção aos mesmos, com o intuito de averiguar mais pormenorizadamente as suas deformações ou condições técnicas que possam ter levado à ocorrência do acidente.

5- Local do acidente – a correta recolha das características do local em que o acidente ocorre é sempre indispensável para análise do processo. Dados como a geometria da via, características do meio envolvente à altura do acidente, o tipo e estado do piso, visibilidade, condições atmosféricas, volume de tráfego, sinalização, luminosidade, hora do acidente e outros elementos que possam ser relevantes para o estudo em questão, são cruciais para a otimização da hipótese dinâmica do acidente. Nesta fase da investigação são utilizados instrumentos de medida que permitem ao investigador obter dados mais rigorosos e reais, (Figura 10, 11,12,13 e 14). Os diversos instrumentos permitem determinar o atrito e inclinação da via, identificar o possível local de embate para posteriormente verificar os resultados obtidos com as medidas existentes no croqui das autoridades. É também realizado novo registo fotográfico para análise de visibilidade e reações, recorrendo a um instrumento que permita obter uma fotografia aérea utilizando um *drone*, obtendo desta forma uma imagem de topo, que poderá ser usada posteriormente na simulação computacional.

As marcas deixadas no local são importantes para determinar trajetórias dos veículos antes do acidente e as posições de imobilização. Estas marcas por norma constam do auto de ocorrência das autoridades, no entanto, uma inspeção cuidada ao local do acidente pode permitir ao investigador a obtenção de algum dado anteriormente desconhecido.

6- Concluído o processo de investigação e recolha de informação dá-se início à fase de reconstituição técnica do acidente de viação. O processo inicia-se com a análise matemática do acidente. Recorrendo aos dados obtidos na investigação, são efetuados os cálculos que permitam determinar as possíveis velocidades dos veículos antes e depois do embate. É calculada simultaneamente EES (*Energy Equivalent Speed*), isto é, a velocidade de deformação dos veículos (correspondência com a compatibilidade de danos – gama de intensidade de avarias). Para esta análise é efetuado igualmente um estudo com recurso a bibliografia especializada e métodos de energia e deformação.

Para melhor compreensão do acidente são calculadas e analisadas as condições de visibilidade e reações. Este método permite perceber a partir de que momentos os condutores têm possibilidade

de perceber a presença de outro veículo e, permite ainda, determinar a distância a que estes estão de uma possível colisão.

Para completar o relatório pericial e estabelecer uma coerência com os resultados obtidos analiticamente, é efetuada uma análise computacional com recurso ao *software* PC-Crash, que no caso em estudo confirmou as possíveis velocidades, visibilidades e dinâmica do acidente.

Instrumentos de medida:



Figura 10-Radar



Figura 11-Medidor de Atrito



Figura 12- Acelerómetro



Figura 13 – Drone (Fotografia e Vídeo)



Figura 14 – Drone (Fotografia e Vídeo)

3.3.2 Análise matemática da colisão entre dois veículos

3.3.3 Análise matemática das velocidades de circulação após colisão

A análise matemática das velocidades de circulação após colisão (V_f) consiste na execução dos princípios científicos da “conservação de momento rotacional” (Franck & Franck, 2000). Através

destes cálculos onde se considera o coeficiente de atrito do piso (μ), a aceleração gravítica (g), a magnitude de rotação após impacto (β), a distância entre eixos (WB) e a distância percorrida após colisão (D_f) é possível determinar a velocidade após impacto dos Veículos 1 e 2.

Todos os dados usados para estes cálculos são fornecidos pela descrição e registo fotográfico do relatório da participação do acidente e respetivo croqui elaborado pelas autoridades no momento após o acidente.

- V_f – Velocidade final
- μ - Coeficiente de atrito = 0,8 (obtido através da tabela disponível no IMT)
- g - Aceleração gravítica = $9,8 \text{ m/s}^2$
- β - Magnitude de rotação
- WB - Distância entre eixos (obtida através do PC-CRASH ou ficha técnica do veículo)
- D_f - Distância final após colisão

Veículo 1

$\mu_1 = 0,8$ - Este coeficiente de atrito diz respeito à via de alcatrão (IMT).

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

β = O Veículo 1 sofre uma rotação de 207° .

$WB_1 = 2,8$ metros. (PC-CRASH)

Tendo em conta que o veículo 1 sofreu uma rotação, é necessário usar a equação do momento rotacional: (Franck & Franck, 2000).

Equação 1 – Equação usada para determinar a velocidade de circulação de um veículo em função da rotação efetuada.

$$V_{f1} = \sqrt{2 * g * \left(\mu * \beta * WB_1 * \frac{\pi}{180} \right)}$$

$$\text{Assim sendo: } V_{f1} = \sqrt{2 * 9,8 * 0,8 * 207^\circ * 2,8 + \frac{\pi}{180}} = 12,6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$\text{Covertendo para medida Kilómetros por Hora } \left(\frac{\text{Km}}{\text{h}} \right) = 12,6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) * 3,6 =$$

$$\text{Aproximadamente } 45 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Veículo 2 (não executa rotação, desta forma o cálculo da velocidade será em função da distância de travagem (Franck & Franck, 2000))

$$\mu = 0,8 ;$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2};$$

$D_f = 19$ metros em piso de estrada.

Equação 2 – Equação usada para determinação da velocidade de circulação através da distância de travagem.

$$V_{f2} = \sqrt{2 * \mu * D_f * g}$$

$$\text{Assim sendo: } V_{f2} = \sqrt{2 * 0,8 * 19 * 9,8} = \text{Aproximadamente } 17,3 \left(\frac{m}{s}\right) = 17,3 \left(\frac{m}{s}\right) * 3,6 = \\ \text{Aproximadamente } 62 \left(\frac{km}{h}\right)$$

As velocidades após colisão obtidas analiticamente pela equação da conservação do momento rotacional são para o Veículo 1 e Veículo 2 de aproximadamente entre 45 km/h e 62 km/h, respetivamente.

Tendo em conta uma margem de erro entre 10 km/h para este estudo, podemos concluir que as velocidades finais dos veículos pós-colisão seriam entre 35km/h e 55km/h para o Veículo 1 e de 52km/h e 72km/h para o Veículo2.

Após a determinação das velocidades após-impacto e as posições de imobilização dos veículos, é possível determinar as velocidades iniciais (V_i) antes de colisão, através da equação do princípio de conservação do momento linear.

3.3.4 Cálculo de velocidades antes de colisão:

Com as velocidades finais calculadas e determinando os ângulos de saída após colisão (figura 9), podemos obter um valor estimado das velocidades iniciais através das seguintes equações parametrizadas de um choque entre duas viaturas baseadas no princípio de conservação da quantidade de movimento linear (Franck & Franck, 2000):

Equação 3 – Equação geral do princípio da conservação da quantidade de movimento linear.

$$(m_1 * v_1 + m_2 * v_2)_{inicial} = (m_1 * v_1 + m_2 * v_2)_{final}$$

Os ângulos de saída após colisão e os ângulos iniciais pré-colisão são valores aproximados e foram validados após modelação em PC-Crash (visto ser um *software* que possui ferramentas de desenho que tornam o processo mais rigoroso) e tendo em conta o movimento relativo dos centros de massa dos veículos em estudo de acordo com o local de provável embate.

Ângulos de saída após colisão dos Veículos 1 e 2 segundo um eixo ortonormado XY SI:

- A_{1i} - Ângulo inicial do veículo 1 = 90^0
- A_{1f} - Ângulo final do veículo 1 = aproximadamente 62^0
- A_{2i} - Ângulo inicial do veículo 2 = 0^0
- A_{2f} - Ângulo final do veículo 2 = aproximadamente 52^0

Veículo 1:

m_1 = Massa (1740 kg- obtido pelo PC-Crash ou ficha técnica do veículo)

V_{1i} = Velocidade Inicial (?)

V_{1f} = Velocidade Final (12,6 (m/s))

A_{1i} = Ângulo inicial do veículo 1 (90^0)

A_{1f} = Ângulo final do veículo 1 é aproximadamente (62^0)

Veículo 2:

m_2 = Massa (1330 kg- obtido pelo PC-Crash ou ficha técnica do veículo)

V_{2i} = Velocidade Inicial (?)

V_{2f} = Velocidade Final (17,3 (m/s))

A_{2i} = Ângulo inicial do veículo 2 (0^0)

A_{2f} = Ângulo final do veículo 2 é aproximadamente (52^0)

Tendo duas incógnitas, é necessário duas equações.

1)

Equação 4 – Equação geral do princípio da conservação do momento linear em função do sin.

$$V_{1i} = \frac{V_{1f} * m_1 * \sin(A_{1f}) + V_{2f} * m_2 * \sin(A_{2f})}{m_1 * \sin(A_{1i})}$$

Substituindo na equação 1 obtém-se:

$$V_{1i} = \frac{12,6 \left(\frac{m}{s} \right) * 1740 kg * \sin(62) + 17,3 \left(\frac{m}{s} \right) * 1330 * \sin(52^0)}{1740 kg * \sin(90)}$$

V_{1i} = aproximadamente 21,5 (m/s) = 74 km/h

2)

Equação 5 – Equação geral do princípio da conservação do momento linear em função do cos.

$$V_{2i} = \frac{V_{1f} * m_1 * \cos(A_{1f}) + V_{2f} * m_2 * \cos(A_{2f})}{m_2 * \cos(A_{2i})}$$

Substituindo na equação 2 obtém-se:

$$V_{2i} = \frac{12,6 * 1740 * \cos(62^\circ) + 17,3 * 1330 * \cos(52^\circ)}{1330 * \cos(0)} = \text{Aproximadamente } 18,4 \frac{m}{s} \\ = 66 km/h$$

Após devida interpretação dos dados obtidos nesta análise matemática das velocidades de circulação dos Veículos 1 e 2 antes e depois da colisão pode-se concluir que as velocidades iniciais para os Veículos 1 e 2 são respetivamente e aproximadamente entre 64 e 84 km/h e entre 56 e 76 km/h.

3.3.5 Estudo da velocidade de danos (EES)

Com base em fotografias e informação disponibilizada pelo PC-Crash foi possível criar a seguinte Tabela 11 onde é possível relacionar a intensidade e o tipo de avarias com valores do EES (Energy Equivalent Speed – Velocidade de Danos). Salienta-se que a gama de EES em km/h não corresponde as velocidades de colisão dos automóveis mas sim a uma “Velocidade Equivalente do choque entre um determinado Veículo e um corpo rígido que caracteriza a energia dissipada correspondente aos danos visíveis do Veículo” (ISO/DIS 12353-1:1996 (E)).

Tabela 11 – EES estatística correspondente

Intensidade	EES (km/h)
Leve	Até 20
Média	20 a 45
Grave	Acima de 45

Com base no registo fotográfico e descrição da participação do acidente pode-se considerar que o Veículo 1 sofreu uma intensidade de avarias grave com um EES mínimo de 45 km/h visto ter danificado o motor e o embate ter sido frontal. Relativamente ao Veículo 2 pode-se considerar um EES de valor até 20 km/h com uma intensidade de avarias leve, em virtude da colisão ter sido lateral.

De seguida é realizado o cálculo matemático do EES que se verificar coincidente ou na gama atrás selecionada, então as velocidades calculadas no capítulo anterior verificam a dinâmica do acidente. Energia imediatamente depois da colisão:

Equação 6 – Equação para determinar a energia de impacto inicial em *Joules* (J).

$$E_{inicial(i)} = m(i) * \frac{velocidade_{antes\ colisão}^2}{2} \text{ (J)}$$

$$E_{inicial\ veículo\ 1} = 1740 * \frac{(\cong 21,5\ m/s)^2}{2} = 402158 \text{ (J)}$$

$$E_{inicial\ veículo\ 2} = 1330 * \frac{(\cong 18,4\ m/s)^2}{2} = 225142 \text{ (J)}$$

Energia imediatamente antes da colisão:

Equação 7 – Equação para determinar a energia de impacto final em *Joules* (J).

$$E_{final(i)} = m(i) * \frac{velocidade_{após\ colisão}^2}{2} \text{ (J)}$$

$$E_{final\ veículo\ 1} = 1740 * \frac{(\cong 12,6\ m/s)^2}{2} = 138121 \text{ (J)}$$

$$E_{final\ veículo\ 2} = 1330 * \frac{(\cong 17,3\ m/s)^2}{2} = 199028 \text{ (J)}$$

Diferença de energias (em valor absoluto):

Equação 8 – Equação para determinar energias em valor absoluto

$$E_d(i) = E_{inicial(i)} - E_{final(i)} \text{ (J)}$$

$$E_d\ veículo\ 1 = 402158 - 138121 = 264037 \text{ (J)}$$

$$E_d\ veículo\ 2 = 225142 - 199028 = 26114 \text{ (J)}$$

Cálculo do EES:

Equação 9 – Equação usada para o cálculo da velocidade de danos (EES) em m/s.

$$EES = \sqrt{2 * \frac{E_d(i)}{m(i)}} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$EES \text{ veículo 1} = \sqrt{2 * \frac{264037}{1740}} \cong 17,4 \frac{m}{s} \cong 63 \frac{km}{h}$$

$$EES \text{ veículo 2} = \sqrt{2 * \frac{26114}{1330}} \cong 6,2 \frac{m}{s} \cong 23 \frac{km}{h}$$

Por fim é possível verificar que o EES calculado para o Veículo 1 tem o valor de 63 unidades e por sua vez superior ao limite de 45 unidades (Grave) selecionado previamente e que o EES calculado para o Veículo 2 tem o valor de 23 unidades e por sua vez entre 20 e 45 unidades (Média) que foi o estabelecido previamente (o valor do veículo 2 obtido analiticamente pode ser explicado pelo facto da colisão ter sido lateral). Pode-se concluir que as velocidades determinadas verificam os danos visíveis e físicos dos veículos em estudo.

3.3.6 Análise de visibilidade e reações

Considerando que o Veículo 1 e o Veículo 2 circulavam com uma velocidade média aproximada de 74 km/h e de 66 km/h respetivamente, é possível calcular a distância e o tempo necessário para realizar uma travagem.

Na simulação realizada no PC-Crash foi possível criar linhas de visibilidade e obter a distância entre os dois Veículos no primeiro momento em que se conseguem ver um ao outro. Essa distância é de aproximadamente 15 metros na diagonal, sendo de 8 metros para o Veículo 2 até ao ponto de possível impacto e de 13 metros para o Veículo 1 até ao ponto de possível impacto, figura 15



Figura 15 – Captura da simulação no PC-Crash onde é visível a distância entre os dois veículos a partir do momento em que conseguem se ver um ao outro.

O veículo 1 se circular a uma velocidade média de 74 km/h significa que está a percorrer aproximadamente 21 metros por segundo.

O tempo de reação médio de uma pessoa adulta saudável é de cerca de 1 segundo. Portanto, sendo o tempo de reação de 1 segundo, a distância de reação é de 21 metros.

A distância de travagem é calculada pela seguinte equação:

Equação 10 – Equação usada para o cálculo da distância de travagem em função da velocidade de circulação de um veículo.

$$d = \frac{V^2}{2 * g * (\mu * \cos(\theta) + \sin(\theta))}$$

Em que d é a distância percorrida, V é a variação de velocidade, g é a aceleração gravítica, μ é o coeficiente de atrito e θ é a inclinação do piso. Considerando um coeficiente de atrito médio de 0,8, uma inclinação de piso de 0° e a variação de velocidade de 21m/s, a distância de travagem é de aproximadamente 29 metros.

A distância de paragem é a soma da distância de reação e da distância de travagem: 21 metros + 29 metros = 50 metros.

O Veículo 1 se circulasse a uma velocidade média de 74 km/h precisava de 50 metros para efetuar uma travagem em segurança, ou seja se o veículo 1 se apercebesse do Veículo 2 a circular na via do seu lado esquerdo não conseguiria evitar uma colisão pois no momento em que vê o Veículo 2 este está a uma distância de 15 metros na diagonal e de 13 metros até ao ponto de possível impacto < 50m.

O Veículo 2 se circular a uma velocidade média 62 km/h significa que está a percorrer aproximadamente 17 metros por segundo.

O tempo de reação médio de uma pessoa adulta saudável é de cerca de 1 segundo, portanto, sendo o tempo de reação de 1 segundo, a distância de reação é de 17 metros.

De acordo com a equação para a distância de travagem e considerando um coeficiente de atrito médio de 0,8, uma inclinação de piso de 0° e a variação de velocidade de 17 m/s, a distância de travagem é de aproximadamente 18 metros.

A distância de paragem é a soma da distância de reação e da distância de travagem: 17 metros + 18 metros = 35 metros.

O Veículo 2 se circulasse a uma velocidade média de 62 km/h precisava de 35 metros para efetuar uma paragem em segurança, ou seja se o condutor do veículo 2 se apercebesse do Veículo 1 a circular na via do seu lado direito, não conseguiria evitar uma colisão pois no momento em que vê o Veículo 1 este está a uma distância de 15 metros na diagonal e de 8 metros até ao ponto de possível impacto < 35 m.

Tendo em conta os valores apresentados e de acordo com a geometria do cruzamento em estudo, é possível concluir que ambos os veículos não circulavam a velocidades que pudessem evitar um

acidente, em virtude de um dos veículos não obedecer à sinalização luminosa presente nesse cruzamento.

3.3.7 Análise matemática da colisão entre veículo e o peão

O 2º caso em estudo é um atropelamento a colisão entre um automóvel ligeiro e um peão, numa via de boa visibilidade, resultando do acidente uma vítima mortal – o peão.

No caso em estudo e com base no suposto ponto de impacto, descrição por parte dos intervenientes, participação do acidente e danos no veículo, foi possível elaborar uma análise dinâmica do veículo envolvido e recriar/simular o acidente no *software* de simulação de modo a reconstituir a dinâmica completa do acidente em causa nos autos.

À semelhança do estudo anterior foram cumpridas todas as etapas delineadas para a averiguação e posteriormente efetuado o estudo analítico e computacional, por forma a completar a reconstituição e estabelecer uma coerência com os resultados obtidos analiticamente.

3.3.8 Análise matemática da velocidade de circulação e velocidade de impacto do peão

A velocidade de circulação do veículo pode ser estimada com base na análise de diversos dados que caracterizam este acidente. De acordo com a participação do acidente existem rastros de travagem com uma extensão de 6 metros tendo o veículo se imobilizado após percorrer 26,9 metros após o local provável de embate início de travagem. O peão por sua vez foi projetado 19,1 metros e rolou no chão 7,8 metros ($19,1+7,8=26,9$), Figura16.

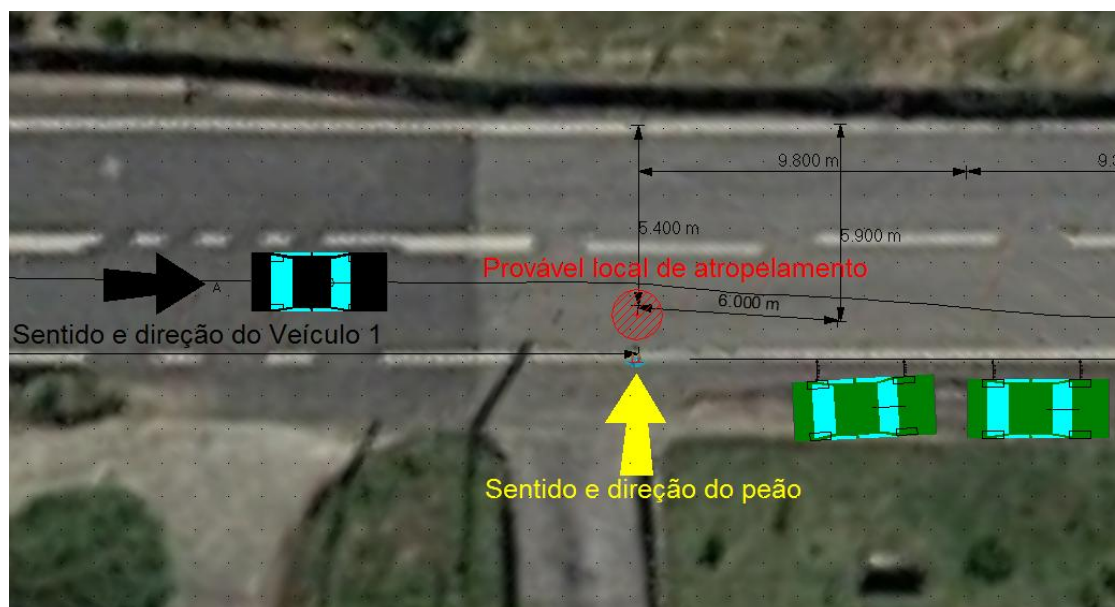


Figura 16 – Local provável de atropelamento

3.3.9 Velocidade de circulação do veículo antes da colisão

Considerando uma distância total de paragem do veículo igual a 26,9m ($D_{t,vec1} = 26,9$), a aceleração gravítica ($g = 9,8$), o coeficiente de atrito na estrada (μ coeficiente de atrito para piso seco de 0,8 (Tabela de coeficiente de atrito do Instituto Mobilidade dos Transportes (IMT)) e a inclinação da via ($\theta = 10^0$) podemos determinar aproximadamente a velocidade de circulação do Veículo 1 de acordo com a seguinte equação:

$$V_{vec1} = \sqrt{2 * \mu * D_{t,vec1} * \cos(\theta) * g}$$

$$= \sqrt{2 * 0,8 * 26,9 * \cos(10) * 9,8} \cong 20,4 \left(\frac{m}{s} \right) \cong 73 \left(\frac{km}{h} \right)$$

O veículo de acordo com a distância que percorreu para se imobilizar teria que possuir uma velocidade na ordem de aproximadamente 73 km/h quando colidiu com o peão.

3.3.10 Velocidade de projeção do peão

De seguida vamos calcular a velocidade de projeção do peão ($V_{proj,peão}$) considerando a distância total que o peão levou a imobilizar-se ($D_{proj,peão} = 26,9m$), como se pode observar na Figura 17. Essa velocidade de projeção vai ser calculada com base em diversas formulações matemáticas patentes em bibliografia científica que abordam atropelamentos.



Figura 17 – Distância de projeção do peão

- 1) Formulação matemática de *Searle* (Depriester, Perrin, Serre, & Chalandon, 2005), em que μ_p é o coeficiente de atrito entre o peão e piso ($\mu_p = 0,66$), e g é a aceleração gravítica ($g = 9,8$).

Equação 12 – Formulação matemática de *Searle*

$$V_{proj.peão} = \sqrt{\frac{2 * \mu_p * g * D_{proj.peão}}{1 + \mu_p^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 * 0,66 * 9,8 * 26,9}{1 + 0,66^2}} = 15,6 \left(\frac{m}{s} \right) \cong 56 \left(\frac{km}{h} \right)$$

Pode-se concluir que pela formulação de *Searle* a velocidade mínima de projeção do peão foi aproximadamente de 56 km/h.

- 2) Formulação matemática *Rau et al* (Depriester et al., 2005)

Equação 13 – Formulação matemática *Rau et al*

$$D_{proj.peão} = 0,0052 * V_{proj.peão}^2 + 0,0783 * V_{proj.peão}$$

$$V_{proj.peão} \cong 65 \left(\frac{km}{h} \right)$$

Pode-se concluir que pela formulação de *Rau et al* a velocidade mínima de projeção do peão foi de aproximadamente 65 km/h.

- 3) Formulação matemática *Simms et al* (Simms, Walsh, & Wood, 2004) em que m_{vec1} é a massa do veículo 1 em unidades SI (aproximadamente 1230kg), $m_{peão}$ é a massa do peão em unidades SI (aproximadamente 75kg) e A e B são parâmetros globais de regressão já definidos em tabelas consoante o género do peão, veículo e ângulos.

Equação 14 – Formulação matemática (*Simms et al*)

$$V_{proj.peão} = \frac{m_{vec1}}{m_{vec1} + m_{peão}} * A * \sqrt{D_{proj.peão} + B}$$

$$= \frac{1230}{1230 + 75} * 3,0 * \sqrt{26,9} - 1,6 = 13 \left(\frac{m}{s} \right) \cong 47 \left(\frac{km}{h} \right)$$

Pode-se concluir que pela formulação de *Simms et al* a velocidade mínima de projeção do peão foi de aproximadamente 47 km/h.

3.3.11 Velocidade de impacto do veículo com o peão

Nesta parte vamos analisar os danos que o veículo sofreu e que estão representados no capítulo anterior de maneira a relacionar uma velocidade de impacto entre o veículo e peão. A figura 18 reproduz um modelo do Instituto Tecnologia Policial e Gestão de Acidentes com Peões dos Estados Unidos da América (*Institute of Police Technology and Management's Pedestrian Accidents*), onde a velocidade de impacto é estimada em função da posição onde ocorreu o embate da cabeça da vítima com o veículo. Analisando esta figura e comparando-a com a dos danos causados por este impacto estima-se que a velocidade de impacto seja aproximadamente superior a 72 km/h.

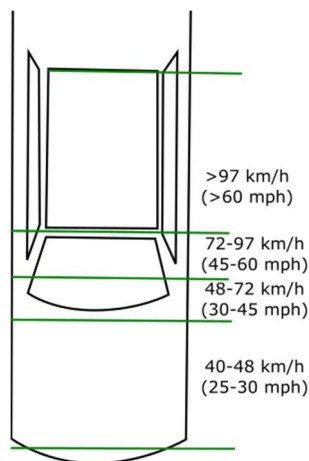


Figura 18- Velocidade de impacto relacionada com a posição da cabeça do peão
(Luis Martinez, acedido em agosto de 2016).

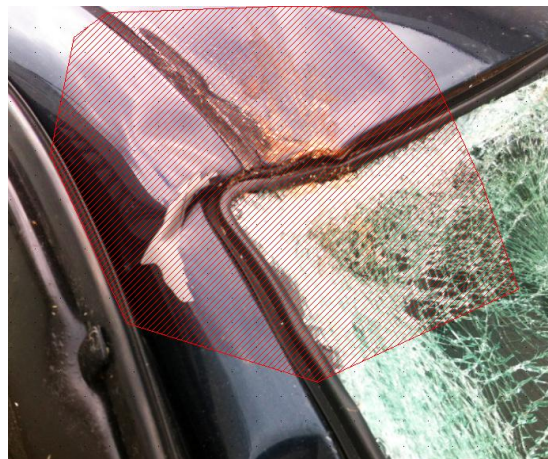


Figura 19- Fotografia da zona frontal do veículo 1.

Como conclusão, após reunir todos os resultados e informação no estudo, entende-se que o peão sofreu uma projeção caracterizada por uma velocidade de impacto de aproximadamente entre 47 e 65 km/h, o que significa que o Veículo 1 teria atingindo uma velocidade de circulação superior a 47 km/h, aproximadamente.

Relativamente aos cálculos para a velocidade de circulação do Veículo 1 antes da colisão e para a Velocidade de impacto do Veículo 1 com o peão chegou-se à conclusão que o veículo deveria circular aproximadamente a uma velocidade mínima de 72 km/h.

A comparação destes resultados permite concluir que o veículo antes da colisão circularia a uma velocidade de aproximadamente 72 km/h o que provocou no início do atropelamento uma projeção do peão a uma velocidade média de 56 km/h.

Uma vez determinadas as velocidades de colisão e atropelamento podemos complementar este estudo com a Figura 20 onde se visualiza um gráfico obtido de estudos anteriores e com base em

dados estatísticos onde relaciona a idade do peão com o risco de morte e velocidade de atropelamento.

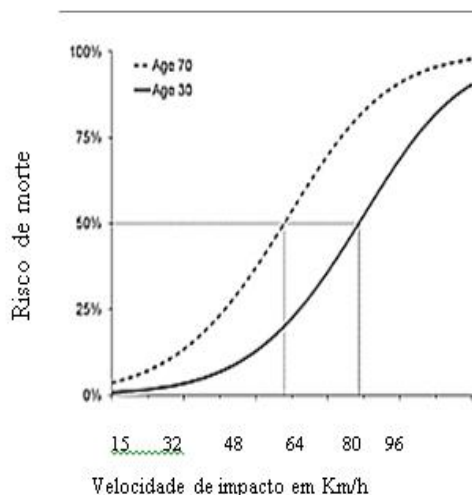


Figura 20- Influência da idade no risco de lesão

(Adaptado de “Car crash impact speed and Pedestrian risk, 2011,pag. 20)”

Como é possível visualizar um peão com cerca de 70 anos tem uma probabilidade próxima de 75% de risco de morte se atropelado por um veículo a 72 km/h.

3.4 Simulação e reconstrução científica de acidentes de viação em túneis.

3.4.1 Caso prático túnel do Marão

Neste subcapítulo, e numa perspectiva de prevenção, será realizada uma simulação de um acidente numa via com características idênticas ao túnel do Marão. O objetivo da simulação é perceber quais as dinâmicas e possíveis consequências de um acidente num cenário com estas particularidades.

O túnel do Marão, e segundo as Infraestruturas de Portugal, tem uma extensão de 5,6 km de túnel e respetivas ligações, numa extensão total de 6 km, é um túnel rodoviário inserido na autoestrada entre Amarante e Vila Real, atravessando a Serra do Marão, dando sequência à autoestrada A4 entre Porto e Amarante. Constituído por duas galerias (uma em cada sentido), possui duas vias de trânsito por galeria, sinalizado com um limite máximo de 100 km/h, não permite a circulação de veículos a uma distância de segurança inferior a 100 metros (através de sinalização vertical). No que se refere ao perfil transversal tipo dos sublanços em apreço, face ao volume de tráfego previsto, o mesmo apresenta 2x2 vias, e tem uma largura total de 25 m sendo constituído por: duas faixas de rodagem, em cada sentido, dotadas de 2 vias de tráfego com 3,50 m de largura, cada; - um separador com 3,00 m de largura; duas bermas esquerdas com 1,00 m; duas bermas direitas com 3,00 m.

Apesar da probabilidade de ocorrência dos acidentes em túneis ser baixa, as consequências destes eventos podem ter graves desfechos ao nível das vítimas, dos danos na estrutura e, consequentemente, no impacto sobre a economia dos transportes (AIPCR/PIARC, Infraestruturas

de Portugal). Segundo o mesmo autor, a ocorrência de um acidente num túnel, aumenta significativamente a gravidade dos ferimentos sofridos em comparação com os acidentes ocorridos em troços abertos de autoestradas. Num túnel o risco de ser morto num acidente de viação é duas vezes maior do que em troços abertos de autoestradas. Já nos túneis com trânsito bidirecional a probabilidade de ser morto em um acidente de trânsito é 2,3 vezes maior do que em túneis com tráfego unidirecional (Nussbaumer, 2007). O autor refere ainda, que as taxas mais altas de acidentes nos túneis ocorrem na área de entrada, o que pode levar a uma especial atenção na promoção de algumas medidas segurança nestas zonas específicas dos túneis.

No quadro seguinte (Tabela 12) é possível observar alguns dos graves acidentes de viação ocorridos em túneis.

Tabela 12 – Principais acidentes em túneis nas últimas décadas (Instituto de Infraestruturas Rodoviária, I.P.)

1978 Velsen (Holanda) túnel rodoviário com bidireccional, 770 km	5 mortos e 5 feridos
1979 Nihonzaka (Japão), túnel rodoviário de galeria simples, 2 km	9 mortos
1982 Caldecott (EUA), túnel rodoviário de 3 galerias, 1 km	7 mortos e 2 feridos
1983 Pecorile (perto de Génova, Itália), túnel rodoviário de galeria dupla, 600m	8 mortos e 22 feridos
1989 Brenner (Áustria), túnel rodoviário de galeria dupla, 412 m	2 mortos e 5 feridos
1995 Pfänder (Áustria), túnel rodoviário de galeria simples, 6,8 km	3 mortos
1996 Isola delle Femmine (Itália), túnel rodoviário de galeria dupla, 148 m	5 mortos e 10 feridos
1999 Mont-Blanc (França/Itália), túnel rodoviário de galeria simples, 11,6 km	39 mortos e 25 bombeiros feridos
1999 Tauern (Áustria), túnel rodoviário de galeria simples, 6km	12 mortos (7 mortos devido a acidente automóvel)
2001 Gleinalm (Áustria), túnel rodoviário de galeria simples, 8,8 km	5 mortos devidos a acidente automóvel
2001 St. Gotthard (Suíça), túnel rodoviário bi-direccional, 16,9 km	11 mortos
2005 Frejus (França/Itália), túnel rodoviário de galeria simples, 12,9 km	2 mortos e 6 feridos
2006 Viamala (Suíça), túnel rodoviário bidireccional, 750 m	9 mortos e 6 feridos

O Decreto-Lei n.º 75/2006, de 27 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 308/2009, de 23 de outubro, estabelece os requisitos mínimos de segurança para os túneis da rede rodoviária transeuropeia e da rede rodoviária nacional e procede à transposição para a ordem jurídica nacional da Diretiva n.º 2004/54/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de abril de 2004. Tendo em conta as características do túnel do Marão (dimensão superior a 3km), são impostos através da legislação, vários requisitos que sustentem os requisitos de segurança necessários e obrigatórios

à resolução de potenciais acidentes que possam ocorrer num túnel deste tipo, as quais são demonstradas na seguinte tabela (Tabela 13).

Tabela 13 – Requisitos obrigatórios em túneis com mais 3km (Adaptado do DL n.º 75/2014 de 13 de maio)

Medidas estruturais	Passagem do separador central fora de cada entrada Ligações transversais para os serviços de emergência pelo menos todos os 1 500 m (Obrigatório nos túneis de duas galerias com extensão superior a 1 500 m). Áreas de paragem de emergência pelo menos todos os 1000 m Resistência da estrutura aos incêndios (Obrigatório sempre que um colapso de estruturas possa ter consequências catastróficas).
Iluminação	Iluminação normal Iluminação de segurança Iluminação de evacuação
Ventilação	Ventilação mecânica Disposições especiais para ventilação (semi-) transversal (Obrigatório nos túneis com dois sentidos sempre que exista um centro de controlo).
Postos de emergência	Pelo menos de 150 em 150 m (Equipados com telefone e dois extintores. É autorizado um intervalo não superior a 250 m nos túneis existentes).
Alimentação de água	Pelo menos de 250 em 250 m (Se não disponível, obrigatório pôr à disposição água suficiente por outros meios).
Sinalização rodoviária	Para todos os equipamentos de segurança à disposição dos utentes dos túneis.
Centro de controlo	A vigilância de vários túneis pode ser centralizada num único centro de controlo.
Sistemas de vigilância	Vídeo (Obrigatório quando não exista um centro de controlo). Deteção automática de incidentes e/ou de incêndio (Pelo menos um dos dois sistemas é obrigatório nos túneis com um centro de controlo).
Equipamento de encerramento em túnel	Semáforos antes das entradas Semáforos no interior do túnel, pelo menos de 1 000 em 1000 m (Recomendado se existir um centro de controlo e a extensão exceder 3 000 m).
Sistemas de comunicação	Retransmissão de radiodifusão para serviços de emergência Mensagens de rádio de emergência para os utentes dos túneis (Obrigatório quando existir retransmissão de radiodifusão para os utentes dos túneis e sempre que exista um centro de controlo). Altifalantes nos abrigos e nas saídas (Obrigatório quando os utentes a evacuar tiverem que esperar antes de chegar ao exterior).
Alimentação de energia de emergência	A fim de assegurar o funcionamento do equipamento de segurança indispensável pelo menos durante a evacuação dos utentes dos túneis.
Resistência do equipamento aos incêndios	A fim de manter as funções de segurança necessárias.

3.4.2 Simulação de acidente em túnel

A simulação teve como objeto de estudo dois cenários com dimensões semelhantes, sendo um com as características idênticas do túnel do Marão (Figura 21- Captura da simulação em PC-Crash com barreiras rígidas 1 (são visíveis os veículos intervenientes no acidente, as barreiras rígidas do túnel e a configuração geométrica da via.) e Figura 22) e outro em troço aberto de autoestrada (Figura 23 e Figura 24). Dos 5 veículos utilizados na simulação, 4 são automóveis ligeiros de passageiros (Fiat, Audi, Smart e Ford) e 1 um é automóvel pesado de mercadorias (Volvo) - Tabela 14.

Foram definidas diferentes velocidades e posições na via, sendo a Massa dos veículos atribuída pelo programa de simulação. As velocidades foram definidas em função da necessidade de um dos veículos realizar a manobra de ultrapassagem e da posição dos restantes veículos na via, tendo-se considerado que o Audi e Fiat excediam os limites legais impostos para o túnel (100 Km/h), sendo de 150 km/h e 110km/h respetivamente. Todos outros veículos respeitavam os limites legais impostos, no entanto, a distância de segurança obrigatória no túnel (100m), não foi respeitada pelo condutor do veículo pesado e pelo condutor do Fiat.

Tabela 14 – Dados relativos aos veículos utilizados na simulação computacional

ID Veículo	Marca	Modelo	Classificação (ligeiro ou pesado)	Massa (kg)	Velocidade inicial (km/h)
1	Fiat	Punto 1.2	Ligeiro	1015.0	110
2	Audi	A5 3.0	Ligeiro	1540.0	150
3	Smart	Fortwo 1.0	Ligeiro	730.0	100
4	Ford	Fiesta 1.3	Ligeiro	1033.0	90
5	Volvo	FL 12-380	Pesado	8570.0	80

As vias usadas têm uma largura da faixa de rodagem com 7m, dividida por duas vias de trânsito com 3,5 m cada, comuns às duas vias em estudo. Relativamente às bermas, o túnel tem uma berma direita de 2m mais 1 m de passeio e uma berma esquerda composta apenas por passeio com 1m de largura. Considerou-se a altura dos passeios de 0,3 m. A autoestrada não tem passeios, ficando toda a largura da berma ao mesmo nível da faixa de rodagem, sendo 1m para a berma esquerda e 3m para a berma direita.

O tipo de piso (alcatrão), coeficiente de atrito (0,8) e inclinação (2,5%) é comum às duas vias. Quanto às barreiras laterais considerou-se uma barreira rígida em betão para o túnel e uma barreira

em raíles metálicos para a autoestrada. Os dados de entrada referentes às características das vias podem ser observados na Tabela 15

Tabela 15 – Dados relativos às vias utilizadas na simulação computacional

	Largura da faixa de rodagem (m)	Largura da berma direita (m)	Largura da berma esquerda (m)
Túnel (T)	7	2,0	0
Autoestrada (AE)	7	2,0	1,0
	Largura de passeios - direito e esquerdo (m)	Altura dos passeios (m)	Coefficiente de atrito
Túnel (T)	1,0	0,3	0,8
Autoestrada (AE)	0	0	0,8
	Inclinação da via	Tipo de piso	Barreira Lateral
Túnel (T)	2,5%	Alcatrão	Muro de betão
Autoestrada (AE)	2,5%	Alcatrão	Raíles metálicos

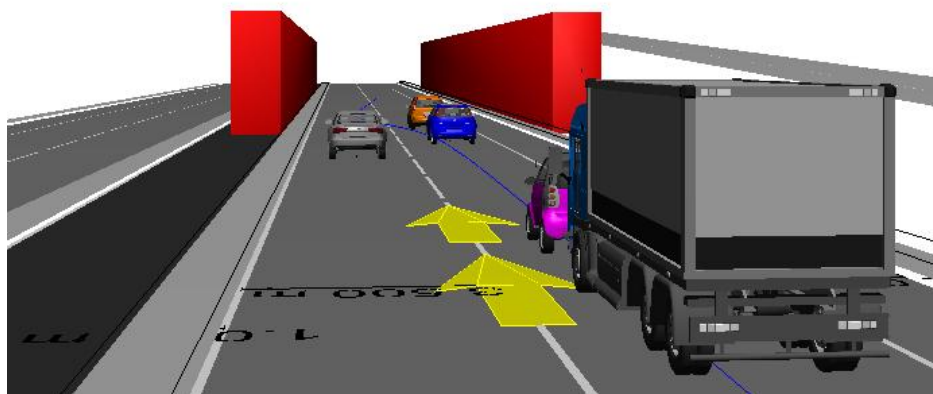


Figura 21- Captura da simulação em PC-Crash com barreiras rígidas 1 (são visíveis os veículos intervenientes no acidente, as barreiras rígidas do túnel e a configuração geométrica da via.)

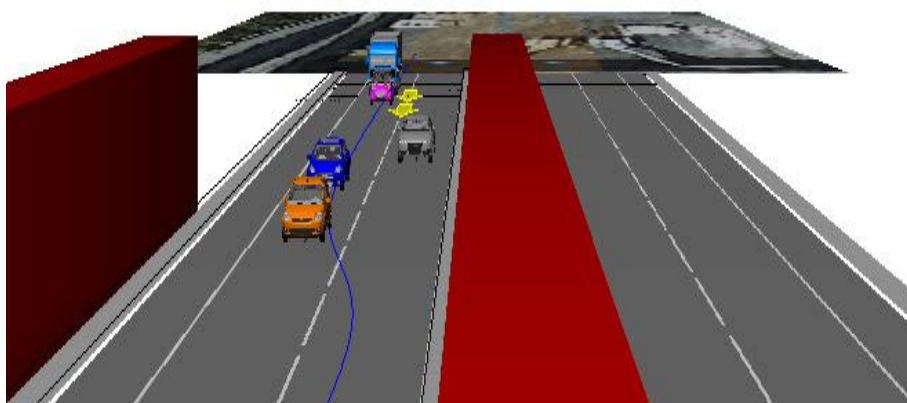


Figura 22- Captura PC-Crash com barreiras rígidas 2 (são visíveis os veículos intervenientes no acidente, as barreiras rígidas do túnel e a configuração geométrica da via).

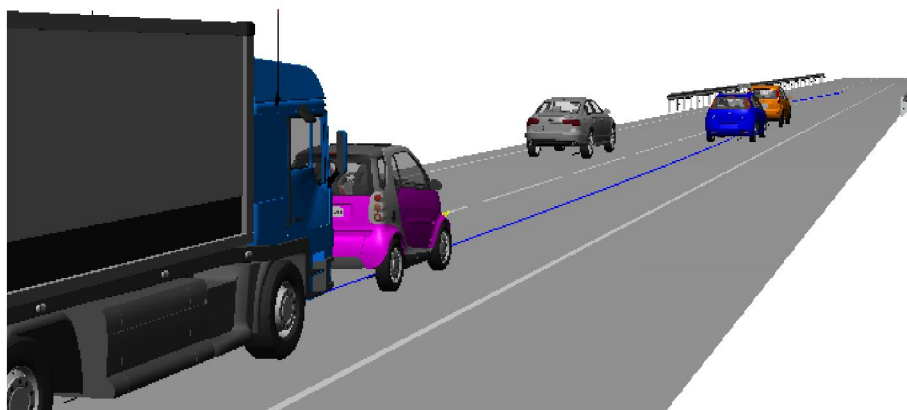


Figura 23 – Captura da simulação em PC-Crash 3 (são visíveis os veículos intervenientes, as barreiras rígidas deformáveis – rails e a configuração geométrica da via).



Figura 24 – Captura da simulação em PC-Crash 4 (são visíveis os veículos intervenientes, as barreiras rígidas deformáveis – rails e a configuração geométrica da via).

Após efetuada a simulação, foi realizada uma avaliação para analisar quais as principais diferenças ao nível do número de colisões, valores de deformação máxima (m), valores de deformação máxima (J), EES globais e distâncias percorridas pelos veículos após a colisão. A simulação foi efetuada recorrendo ao software PC-Crash, sendo para o efeito, recriado um acidente de viação que resulta do desrespeito das regras de ultrapassagem e dos limites máximos de velocidade aplicados às vias.

4 RESULTADOS

4.1 Revisão sistemática de metodologia PRISMA.

Da pesquisa bibliográfica realizada segundo os critérios da metodologia PRISMA, resultou um número total de 2266, que após a análise efetuada segundo critérios previamente definidos, obteve-se um resultado final de 14 artigos.

Para mais fácil leitura dos resultados, é apresentado a estrutura e metodologia da pesquisa efetuada. (Figura 255)

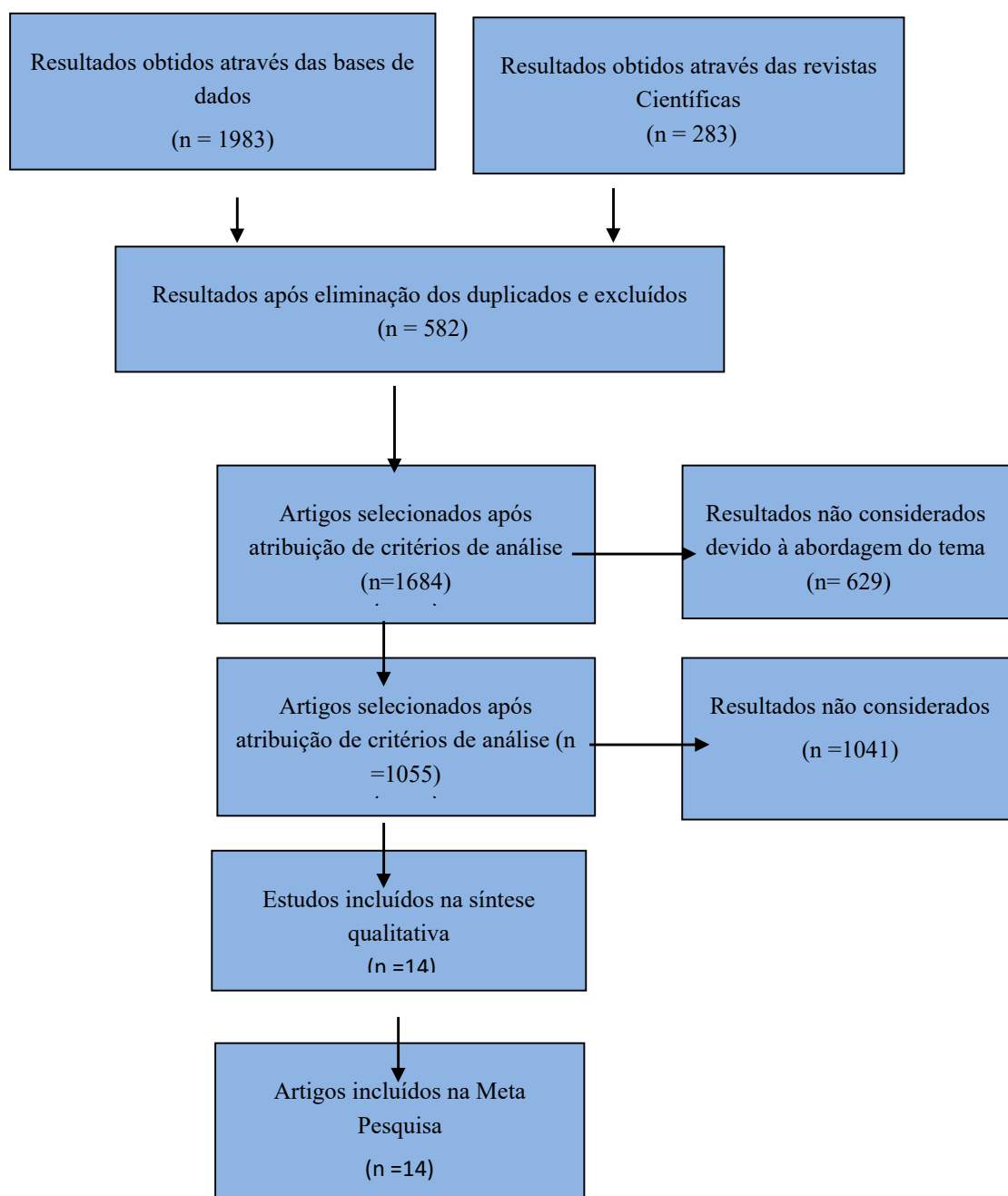


Figura 25 - Diagrama de Metodologia PRISMA

Através da Tabela 16 podemos analisar os principais objetivos e conclusões dos 14 estudos selecionados na revisão bibliográfica.

Tabela 16 – Principais objetivos e conclusão da revisão bibliográfica.

Autor	Ano	Objeto de estudo	Objetivo	Principais conclusões
Su et al.,	2016	Recolha de informação	Estudar as vantagens da utilização de aparelhos aéreos não tripulados (<i>drones</i>),	Precisão na recolha de informação e otimização do tempo despendido.
T. W. Wong et al.	2014	Recolha de informação	Determinar as velocidades praticadas pelos condutores, recorrendo às filmagens de vídeo.	Apesar das distorções das imagens capturadas poderem ter um impacto negativo na determinação das velocidades, as discrepâncias em termos absolutos são inferiores a 1,5 %, o que permitirá utilizar este método em exames forenses para reconstituição de acidentes.
Zhang, Jin, Qi, & Guo,	2008	Deformação do veículo	Desenvolver uma técnica capaz de determinar as velocidades de impacto através da deformação dos veículos.	A técnica poderá ser uma mais-valia para a criação de uma base científica de análise de acidentes, principalmente quando não é possível determinar as marcas de travagem.
Kim,et al.,	2012	Colisão entre veículos	Estudar a aplicação de métodos de recolha de informação, através das técnicas de fotografia e scanner 3D.	Fotografia tem baixo custo, enquanto o uso de um scanner, possibilita reconstruir um modelo 3-D de colisão muito próximo da realidade
Lacey	2009	Colisão entre veículos	Apresentar uma visão geral dos modelos desenvolvidos para estudar a reconstituição dos acidentes de viação	A otimização dos resultados deve ser baseada cada vez mais em documentação e técnicas altamente avançadas, com informações mais detalhadas sobre a rigidez estrutural dos carros modernos e do seu comportamento de deformação. Sugere a utilização de lasers de varredura na recolha de informação.
Gobbi, Mastinu, & Previati,	2013	Colisão entre veículos	Estudar a influência das propriedades da massa de um veículo num acidente de viação	Um erro de 10% sobre o valor estimado do momento de inércia de um carro ou de um erro de 100 mm na localização do centro de gravidade pode conduzir a erros de cerca de 20% nas velocidades determinadas dos dois veículos antes do acidente
Prentkovskis, Sokolovskij, & Bartulis	2010	Colisão entre veículos	Analisar as mudanças na direção do movimento de veículos automóveis em caso de uma colisão. (PC-CRASH)	Há uma grande diferença entre as deslocações dos veículos quando o embate ocorre ao circularem no mesmo sentido, relativamente às colisões frontais. Foram identificadas maiores deformações nas carroçarias quando as colisões são frontais, relativamente aos outros tipos de colisão.

Carter & Neal-Sturgess,	2009	Colisão entre automóvel e bicicleta	Estudar a possibilidade de reconstituir acidentes entre automóveis e velocípedes através da simulação computacional. (MADYMO)	O grau de correlação entre a simulação e caso real era bom para o impacto inicial com o veículo, mas diminuiu ligeiramente na parte final da simulação. Relativamente às lesões sofridas pelo ciclista, foi encontrada uma boa correlação para a maioria das lesões, particularmente aquelas que resultaram do impacto inicial com o veículo, no entanto, o modelo apresenta algumas dificuldade em quantificar a gravidade e significado das múltiplas lesões no resultado final.
Xu, Li, Lu, & Zhou,	2009	Atropelamento	Desenvolver uma metodologia capaz de determinar a velocidade de impacto num atropelamento, através da deformação dos vidros de para-brisas dos automóveis provocados pelo embate da cabeça dos peões.	É sugerido a aplicação da metodologia como uma boa solução para reconstituição de atropelamentos. No entanto o modelo pode não ser adequado para calcular a velocidade de impacto em acidentes de colisão a alta velocidade.
Vangi	2009	Atropelamento	Determinar a velocidade de impacto entre um veículo e um peão.	Esta abordagem possibilita reconhecer os três tipos mais comuns de trajetórias em atropelamentos, cometendo um erro estimado de apenas 3 Km / h.
Weng, Jin, Zhao, & Zhang	2010	Atropelamento	Apresentar uma metodologia capaz de reconstituir um atropelamento, através da lesão dos peões.	Apesar do método de reconstituição proposto produzir um resultado considerável na reconstituição do caso real apresentado, há limitações no método que podem limitar a sua aplicação.
Kim, et al.,	2012	Atropelamento	Desenvolver uma ferramenta capaz de reconstituir dinâmica do acidente com base em dados obtidos a partir de um local ou através de uma análise de simulação aproximada da realidade.	A ferramenta desenvolvida deduz a trajetória do peão e a velocidade de colisão do veículo com um erro de 1,4 m / s (5,1 km / h), em média. A ferramenta foi implementada num programa de computador e validada por comparação com os dados empíricos e de simulação em computador.
Simms, Walsh, & Wood	2004	Atropelamento	Determinar a velocidade de colisão, através da projeção do peão.	Valores tabelados com graus de confiança bastante elevados, através dos quais é possível estimar as velocidades de colisão, para peões criança ou adultos.
Sokolovskij & Prentkovskis,	2013	Atropelamento	Analisar a possibilidade que condutor tinha para evitar o atropelamento, após determinar a	A metodologia poderá ser vista como uma ferramenta útil no apoio à reconstituição técnica de atropelamentos.

velocidade do veículo e
a trajetória do peão.

4.2 Análise matemática da colisão entre veículos

A análise matemática da colisão é demonstrada na Tabela 17, onde constam os objetivos, métodos de cálculo e resultados obtidos.

Tabela 17 – Análise matemática da colisão entre veículos

Definição da trajetória dos veículos envoltantes antes e depois da colisão		
Objetivo	Método de cálculo	Resultado
Cálculo das velocidades pós-colisão	Equação do movimento rotacional $\sqrt{2 * g * (\mu * \beta * W B_1 * \frac{\pi}{180})}$	Veículo 1 - Aproximadamente 45 km/h Veículo 2- Aproximadamente 62 (km/h)
Cálculo de velocidades antes de colisão	Princípio de conservação de quantidade do movimento linear $(m1 * V1 + m2 * V2) \text{ inicial} = (m1 * V1 + m2 * V2) \text{ final}$	Veículo 1 – Aproximadamente 74 km/h Veículo 2- Aproximadamente 66km/h
Estudo da velocidade de danos (EES)	Energia imediatamente depois da colisão: $E_{inicial(i)} = m(i) * \frac{velocidade_{antes\ colisão}^2}{2} \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$	$E_{inicial\ veiculo\ 1} = 1740 * \frac{(\cong 21,5\ m/s)^2}{2}$ $= 402158 \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$ $E_{inicial\ veiculo\ 2} = 1330 * \frac{(\cong 18,4\ m/s)^2}{2} =$ $225142 \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$
	Energia imediatamente antes da colisão: $E_{final(i)} = m(i) * \frac{velocidade_{após\ colisão}^2}{2} \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$	$E_{final\ veiculo\ 1} = 1740 * \frac{(\cong 12,6\ m/s)^2}{2}$ $= 138121 \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$ $E_{final\ veiculo\ 2} = 1330 * \frac{(\cong 17,3\ m/s)^2}{2}$ $= 199028 \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$
	Diferença de energias (em valor absoluto): $E_d(i) = E_{inicial(i)} - E_{final(i)} \text{ (J) } (kg \frac{m^2}{s^2})$	$E_d\ veiculo\ 1 = 402158 - 138121 =$ $264037 \text{ (J) } kg \frac{m^2}{s^2}$ $E_d\ veiculo\ 2 = 225142 - 199028 =$ $26114\ kg \frac{m^2}{s^2}$

	<p>Cálculo do EES:</p> $EES = \sqrt{2 * \frac{E_d(t)}{m(t)} \left(\frac{m}{s} \right)}$	$EES \text{ veículo } 1 = \sqrt{2 * \frac{2640337}{1740}} \cong 17,4 \frac{m}{s} \cong 63 \frac{km}{h}$ $EES \text{ veículo } 2 = \sqrt{2 * \frac{26114}{1330}} \cong 6,2 \frac{m}{s} \cong 23 \frac{km}{h}$
Análise de visibilidade e reações	Equação da distância de travagem:	<p>Veículo 1 - Aproximadamente 29 metros</p> <p>Veículo 2- Aproximadamente 18 metros</p>
	$d = \frac{V^2}{2g(\mu \cdot \cos(\theta) + \sin(\theta))}$	
	Distância de reacção (1 segundo)	<p>Veículo 1- Aproximadamente 21 metros</p> <p>Veículo 2- Aproximadamente 17 metros</p>
	Distância de paragem.	Veículo 1- Aproximadamente 50 metros
	Distância de travagem + Distância de reacção	Veículo 2- Aproximadamente 35 metros

4.3 Análise matemática do atropelamento

A análise matemática do atropelamento é demonstrada na Tabela 18, onde constam os objectivos, métodos de cálculo e resultados obtidos.

Tabela 18 – Análise matemática da velocidade de circulação e velocidade de impacto do peão.

Análise matemática da velocidade de circulação e velocidade de impacto do peão.		
Objetivo	Método de cálculo	Resultado
Velocidade de circulação do veículo antes da colisão	<p>Equação de cálculo da velocidade do veículo</p> $V_{vec1} = \sqrt{2 * \mu * D_{t,vec1} * \cos(\theta) * g}$	Aproximadamente 73 km/h
	<p>Equação matemática de Searle (Depriester et al., 2005)</p> $V_{proj.peão} = \sqrt{\frac{2 * \mu_p * g * D_{proj.peão}}{1 + \mu_p^2}}$	Aproximadamente 56 (km/h)

Velocidade de projeção do peão	Formulação matemática Rau et al (Depriester et al., 2005) $D_{proj.peão} = 0,0052 * V_{proj.peão}^2 + 0,0783 * V_{proj.peão} \therefore$	Aproximadamente 65 (km/h)
	Formulação matemática Simms et al (Simms et al., 2004) $V_{proj.peão} = \frac{m_{vec1}}{m_{vec1} + m_{peão}} * A * \sqrt{D_{proj.peão}} + B$	Aproximadamente 47 (km/h)

4.4 Simulação computacional da colisão entre veículos

Para sustentar as conclusões obtidas analiticamente, foi elaborada a simulação computacional do acidente em PC-Crash, para a colisão e atropelamento, permitindo visualizar toda a dinâmica do acidente. A simulação permite ainda comparar os resultados obtidos no estudo com os elementos constantes no Auto de Ocorrência, o que possibilita determinar com mais fiabilidade as possíveis causas dos acidentes.

Na Figura 26 é possível visualizar a trajetória do veículo 1 e 2 antes da colisão e o possível ponto de impacto.



Figura 26 – Ilustração do *software* de simulação PC-Crash do sentido e trajetória dos Veículos 1 e 2 antes da colisão.

Na Figura 27 é possível visualizar a trajetória do Veículo 1 e 2 depois da colisão e o possível ponto de impacto.

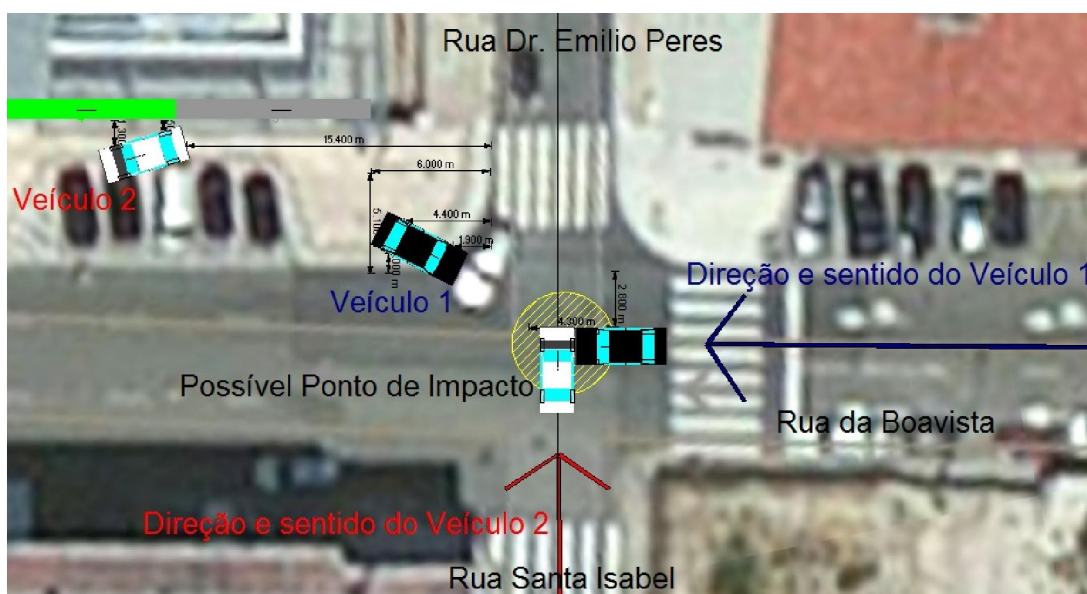


Figura 27 – Ilustração do *software* de simulação PC-Crash da posição de imobilização dos Veículos 1 e 2 depois da colisão.

4.5 Simulação computacional do atropelamento

Na Figura 28 é possível visualizar as posições de repouso do veículo e do peão após o atropelamento.



Figura 28 – Posição de repouso do veículo e do peão (PC-Crash)

4.6 Simulação computacional do acidente no túnel

Através das próximas imagens obtidas pelo programa de simulação PC-Crash, é possível observar os pontos de repouso dos veículos envolvidos no acidente.

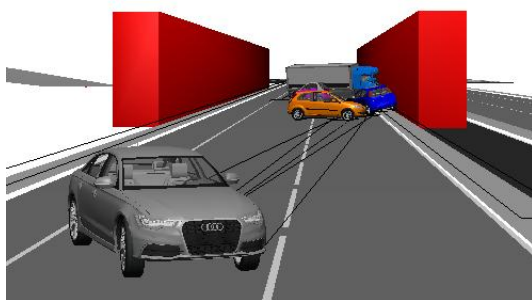


Figura 29 - Posição final dos veículos no Túnel

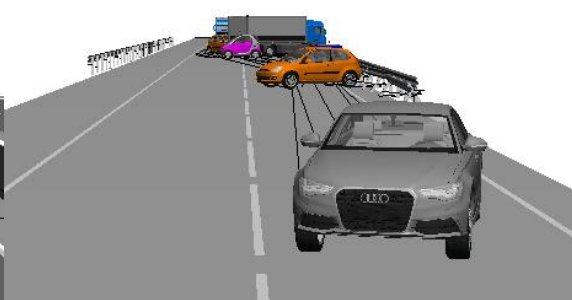


Figura 30- Posição final dos veículos em Autoestrada

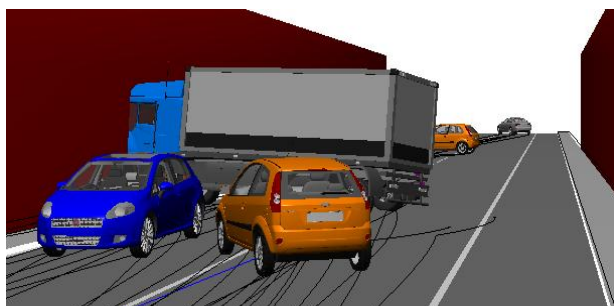


Figura 31- Posição final dos veículos no Túnel 2



Figura 32- Posição final dos veículos em Autoestrada 2

Na tabela 19 estão enumerados os resultados finais dos parâmetros estudados (números de colisões, valores de deformação máxima (m), valores de deformação máxima / energia (J), EES – Global e distâncias percorridas (posição final na via). Os valores em questão foram retirados dos relatórios finais do PC-Crash.

Tabela 19 – Parâmetros avaliados após colisão

	Nº de colisões		Valores de deformação máxima (m)		Valores de deformação máxima / Energia (J)		EES - Global		Distancias percorridas (Posição final na via)	
	Túnel	AE	Túnel	AE	Túnel	AE	Túnel	AE	Túnel	AE
1-Fiat	10	263	0,07	0,05	16340	16930	22	24	90	96
2-Audi	7	14	0,06	0,06	16340	16930	11	30	150	145
3-Smart	26	6	0,26	0,11	18892	19055	18	19	101	96
4-Ford	3	5	0,06	0,07	19951	20231	22	22	48	48
5-Volvo	55	14	0,31	0,08	115923	86942	16	16	105	99

Gráficos inerentes aos dados obtidos

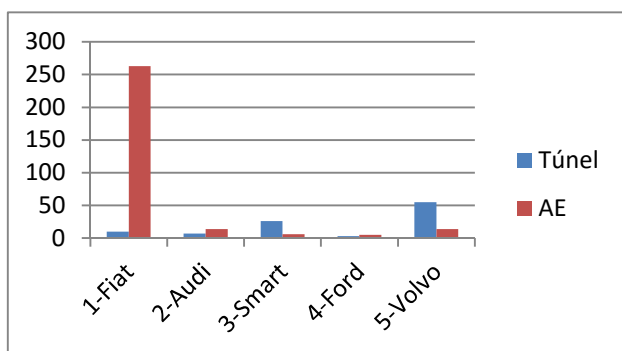


Gráfico 1- Número de colisões

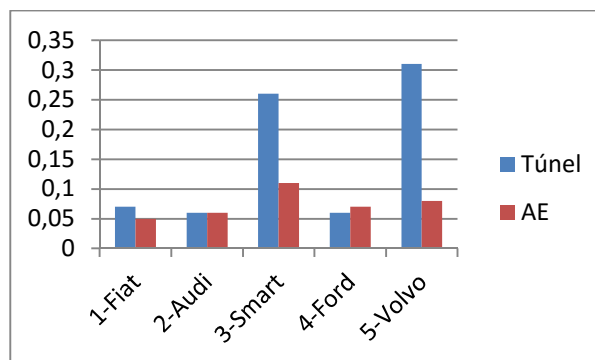


Gráfico 2- Valor de deformação máxima (m)

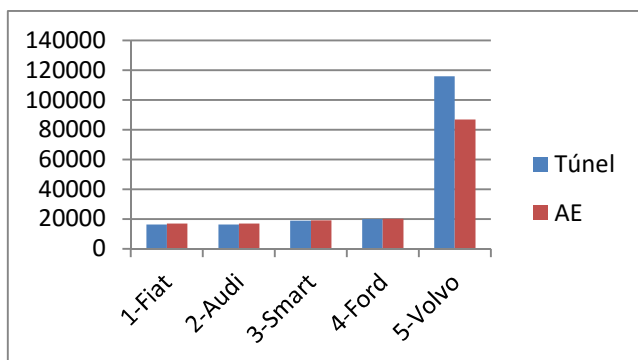


Gráfico 3- Valor de deformação máxima / Energia (J)

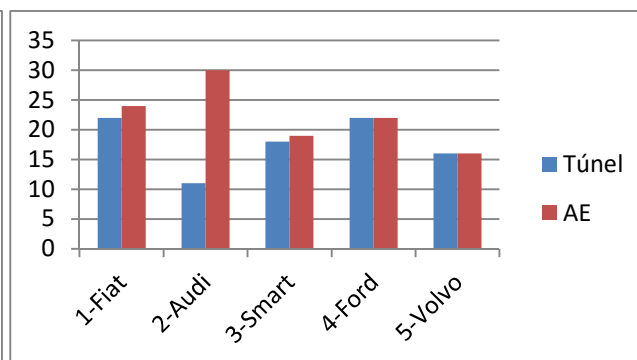


Gráfico 4- EES Global

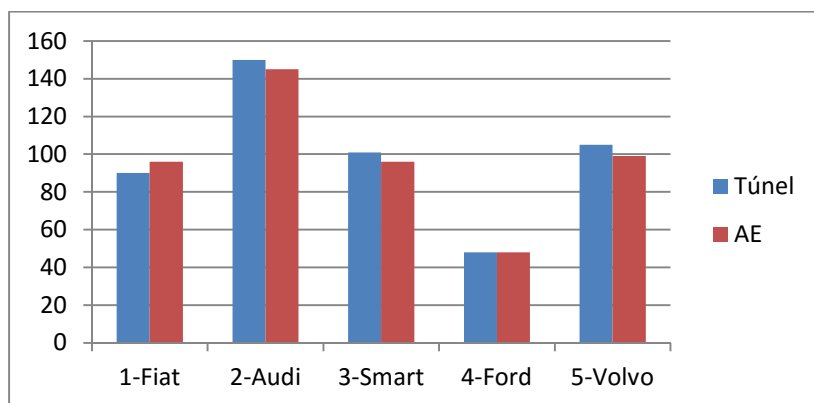


Gráfico 5- Distâncias percorridas

5 DISCUSSÃO

5.1 Pesquisa bibliográfica

Dos 14 artigos analisados, 2 têm por objeto de estudo a recolha de informação, 1 a deformação do veículo, 5 colisões entre veículos e 6 os atropelamentos. Através da literatura presente neste estudo, podemos constatar que há tendência crescente para a utilização de novos métodos e equipamentos capazes de auxiliar o levantamento de dados do local do acidente, cada vez mais rigorosos e fiáveis. A utilização de *drones* e lasers são instrumentos que acrescentam valor na fiabilidade e tratamento da informação recolhida, proporcionado aos investigadores uma maior aproximação à realidade nos resultados finais da reconstituição dos acidentes.

O conhecimento dos materiais que constituem os veículos e seu comportamento de deformação em caso de colisão, permite estudar e utilizar metodologias que apoiam o investigador na determinação das velocidades de colisão, principalmente quando há ausência de vestígios das marcas de travagem. A simulação computacional é neste domínio um instrumento precioso, pois permite obter comparações cada vez mais aproximadas dos acidentes reais.

O estudo das lesões corporais dos peões atropelados e respetivas deformações dos veículos são também cada vez mais estudadas. A literatura apresenta dois estudos nesse sentido e as limitações citadas pelos autores evidenciam que ainda há um grande caminho a percorrer neste campo, pois os dados de entrada são muito diversificados o que pode levar a investigação a imprecisões, nomeadamente quando os acidentes ocorrem a grandes velocidades ou com múltiplas lesões.

A simulação computacional é utilizada em grande parte dos estudos referentes a colisões entre veículos e peões. Estes instrumentos apresentam cada vez mais precisão na reconstituição dos acidentes, acima de tudo, quando há insuficiência de informação. No entanto, o rigor da sua utilização está dependente da correta introdução dos parâmetros de entrada. O PC-Crash é referenciado como um bom instrumento nas simulações de colisão entre veículos automóveis e o MADYMO nas simulações de colisão que envolvem corpos múltiplos, no caso específico colisão com ciclista. Estas ferramentas permitem ainda a recriação do acidente em imagens 3-D e vídeo, oferecendo ao investigador uma perspetiva bastante aproximada da realidade, sustentando assim as conclusões da origem e da dinâmica do acidente.

Os métodos analíticos utilizados pelos investigadores são sugeridos também como uma metodologia fiável, desde que, se conheça com exatidão as diferentes variáveis em estudo, como por exemplo o local provável de embate ou as marcas de travagem. Contudo, nem sempre a informação chega ao investigador com a precisão exigida, pois o seu levantamento é efetuado com muitas limitações, o que pode levar a erros no resultado final da investigação.

5.2 Caso prático de colisão e atropelamento

5.2.1- Colisão

Através da análise matemática das velocidades de pós-colisão, os resultados obtidos demonstram que os veículos circularam a uma velocidade aproximada de 45 km/h para o Veículo 1 de 62 (km/h)

para o Veículo 2. Foi utilizado como método de cálculo a equação do Movimento Rotacional. Para calcular a velocidade antes de colisão foi utilizada equação do Princípio de Conservação do Momento Linear, obtendo um resultado de velocidades aproximadas de 74 km/h para o Veículo 1 e 66 km/h para o Veículo 2. Tendo em conta a incerteza de todos os parâmetros utilizados na recolha de informação, é apresentada uma gama de (+10km/h) e (-10Km/h) nas conclusões dos resultados finais obtidos. Quanto ao estudo da velocidade de danos (EES), esta informação é pertinente para perceber a compatibilidade dos danos nos veículos acidentados. O *software* PC-Crash apresenta uma base de dados que permite auxiliar e sustentar as conclusões resultantes desta análise. Para o cálculo desta variável foram utilizadas as equações de energia imediatamente depois e antes de colisão, seguidas da equação diferença de energias (em valor absoluto) e por fim a equação de cálculo da EES.

Através da análise de visibilidade e reações, o investigador procura perceber quais os momentos em que os condutores se percecionam um ao outro, tentando desta forma recriar os instantes finais antes da colisão. Este método é bastante útil para determinar quais as possibilidades que os condutores teriam de evitar a colisão. Após identificadas as velocidades antes de colisão são utilizadas as equações da Distância de Travagem, Reação e Paragem. Após efetuados os cálculos obteve-se um resultado de distância de paragem aproximadas de 50 metros para o Veículo 1 e 35 metros para o Veículo 2, concluindo-se que ambos os condutores não teriam possibilidade de evitar o embate, em função da velocidade que circulavam e o espaço livre e visível que disponham à sua frente.

5.2.2- Atropelamento

Depois de efetuados os cálculos matemáticos das possíveis velocidades de circulação do veículo antes da colisão e projeção do peão, pode-se concluir que o peão foi projetado por uma velocidade de impacto aproximada entre 47 e 65 km/h, o que significa que o veículo teria atingido uma velocidade de circulação superior de 47 km/h, aproximadamente.

Relativamente aos cálculos para a velocidade de circulação do veículo antes da colisão e para a velocidade de impacto com o peão, pode concluir-se que o veículo deveria circular a uma velocidade superior a 72 km/h, como se observar através dos danos provocados no veículo, Figura 19, e da Figura 18 velocidade de impacto relacionada com a posição do embate da cabeça do peão.

Uma vez determinadas as velocidades de colisão e atropelamento foi possível comparar os resultados obtidos com o estudo da Figura 20 onde se visualiza o gráfico de dados estatísticos onde relaciona a idade do peão com o risco de morte e velocidade de atropelamento.

5.3 Caso prático túnel do Marão

Obtidos os dados inerentes aos parâmetros em estudo, pode constar através da Tabela 16 e através dos gráficos 1,2,3,4,e 5, o seguinte:

1- Número de colisões: o veículo 1 (Fiat) sofreu relativamente aos outros veículos, um número bastante elevado de colisões quando circulava em autoestrada (AE 253 e T 10). No que diz respeito ao túnel, o veículo 5 (Volvo) foi o que mais colisões sofreu (T 55 e AE 14).

2- Valores de deformação máxima (m): neste parâmetro 3 dos veículos que circulavam no túnel (Fiat, Smart e Volvo) tiveram valores máximos de deformação superiores aos veículos que circulavam na autoestrada, tendo apenas o Ford valores inferiores (T 0,06m e AE 0,07m). Os valores respeitantes ao Smart e ao Volvo apresentam diferenças mais acentuadas em relação ao Fiat. Na simulação em AE estes veículos apresentam valores superiores aos restantes, mas as diferenças são bastante inferior ao registados no túnel (Smart T 0,26m e AE 0,11m) e (Volvo T 0,31m e AE 0,08m)

3- Valores de deformação máxima/ Energia (J): relativamente a este parâmetro de avaliação o Volvo é o veículo que apresenta valores mais elevado relativamente aos outros 4. São valores com diferenças muito significativas e mantêm-se a tendência para se acentuarem quando o acidente ocorre no túnel (T 115923 (J) e AE 86942 (J)).

4- EES – Global: o Audi foi o veículo que apresentou um resultado mais diferenciado relativamente a este parâmetro de avaliação (T 11 e AE 30). Todos os outros veículos não tiveram grandes diferenças, tendo o Ford e Volvo mantido os valores e os restantes apresentaram valores mais elevados na AE.

5- Distâncias percorridas: de todos os veículos envolvidos no acidente, apenas o Ford manteve as distâncias. Todos os outros tiveram variações entre os 5 e 6 metros, sendo apenas o Fiat o veículo que aumentou a distância na AE. Todos os outros aumentaram no túnel.

Relativamente às imagens apresentadas no estudo da simulação, podemos observar que os veículos que circulavam no túnel apresentaram deformações mais acentuadas ao nível das suspensões e ao nível da cabine no veículo pesado. Este facto deve-se à existência dos passeios e às barreiras em betão que delimitam a via. Estas condicionantes podem apresentar maior risco de lesão para os condutores e passageiros, principalmente quando circulam em cabines avançadas relativamente ao motor, como é disso exemplo o veículo pesado presente na simulação.

A via obstruída no túnel apresenta uma dificuldade acrescida relativamente à AE, devido à presença dos passeios, pois, estes diminuem o espaço de livre circulação para os condutores que procuram pontos de fuga, bem como, para os veículos que possam ser utilizados na prestação de socorro.

6 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

As consequências resultantes dos acidentes de viação são, seguramente, conhecidas e investigadas por diversas entidades com responsabilidades neste domínio. No entanto, o problema persiste e o combate não se pode resumir à aplicação de medidas de prevenção sem que haja o devido conhecimento das suas causas. Como ficou demonstrado neste estudo, o Homem tem ao seu dispor meios, metodologias e tecnologias cada vez mais precisas e eficazes que lhe permitem recriar e reconstituir as complexas dinâmicas de um acidente. O grande desafio que se coloca é como atuar depois de se conhecer o que determinou a sua ocorrência.

A investigação das causas dos acidentes poderá ser a base de todo o processo de combate à sinistralidade rodoviária, contudo, para que esta seja profícua, ela deve assentar em pressupostos rigorosos de recolha, tratamento e análise de toda a informação que o acidente poderá revelar. Um dos grandes desafios da investigação em accidentologia rodoviária é perceber em que medida os dados que chegam aos investigadores estão de facto corretos. As condições do levantamento de todos os vestígios resultantes dos acidentes são por vezes condicionadas pela ausência de meios técnicos e humanos, bem como, pela ausência de sinergias entre as várias entidades que possam desenvolver a investigação. Um rigoroso levantamento dos dados proporciona ao investigador desenvolver um trabalho mais rigoroso e com resultados mais próximos da realidade. Contudo, a maioria dos resultados obtidos através da investigação são usados como meio de atribuição de culpa e não como uma oportunidade para perceber o que determinou a sua causa.

Como foi possível constatar, podemos determinar com alguma precisão algumas variáveis presentes nos acidentes, como por exemplo, as velocidades de circulação ou de impacto apresentadas nos casos práticos de colisão e atropelamento. No entanto, se não procurarmos entender o porquê dos condutores em determinados locais excederem os limites de velocidade, o problema permanecerá e no futuro outros acidentes ocorrerão. Neste domínio, a simulação computacional poderá dar um contributo de elevado valor no estudo e aplicação de medidas preventivas.

A simulação computacional permite recriar cenários bastante aproximados da realidade, como se pode analisar no caso prático do túnel e autoestrada. Após a determinação dos resultados das diversas simulações realizadas para os dois casos em estudo, é possível concluir que existem características distintas, principalmente ao nível de dissipação de energia e deformação. No acidente que ocorreu dentro do túnel os automóveis envolvidos colidiram entre si e foram projetados para as paredes do túnel, causando limitação de movimento e um impacto superior visto os muros de betão serem uma barreira rígida. A dinâmica do acidente também foi diferente devido à existência de passeios que condicionam o movimento e rotação dos veículos após embate. Salienta-se que existindo um veículo pesado, os danos tornam-se mais evidentes e a probabilidade de ocorrer outros acidentes é superior, pois a sua geometria e dimensão pode obstruir um túnel que

por si só já possui um espaço limitado, podendo mesmo condicionar as intervenções de emergência e prestação de socorro.

No acidente que ocorreu na autoestrada os automóveis envolvidos colidiram e foram de seguida projetados contra os rails laterais. Este género de barreira permite uma dissipação de energia superior, resultando um maior espaço de manobra para possíveis desvios dos veículos que circulam à retaguarda, bem como, permite criar mais condições para a prestação de auxílio aos sinistrados. Pode-se concluir que um acidente dentro de um túnel que se inicie nas mesmas condições que um acidente em autoestrada possui uma dinâmica diferente e levanta diversas questões sobre segurança e prevenção rodoviária, sendo portanto uma mais-valia a utilização de *software* computacional para estudar a dinâmica e consequências de diversos tipos de acidentes e a partir daí delinear medidas de segurança e auxílio que possam ser utilizadas em caso de um acidente de viação.

Este estudo foi realizado com o intuito de centrar o conhecimento da causa do acidente como pilar na implementação das medidas de prevenção rodoviária. No entanto, não é possível atribuir a causa do acidente a um parâmetro isolado, como por vezes acontece nos levantamentos estatísticos. O acidente terá de ser sempre contextualizado e investigado em função dos elementos que compõem o sistema de circulação rodoviário- o Homem, o veículo e a via. É necessário perceber em que medida todos os elementos contribuem para a ocorrência do acidente, e mais importante ainda, é ser capaz de implementar medidas que protejam o Homem em caso de acidente, tornando o sistema de circulação rodoviário num sistema Humanizado.

6.2 Perspetivas Futuras

A complexidade da investigação nos acidentes de viação levantará sempre discussões quanto à sua relevância e eficácia. O elevado número de variáveis a ter em conta num estudo de reconstituição de um acidente poderá ser visto por alguns investigadores como uma tarefa difícil, exigente e por vezes inconsequente. No entanto, a imposição e pertinência da sua elaboração permite acreditar que ainda estará muito por descobrir e muito por acrescentar nesta matéria.

Estudos futuros poderão ser realizados ao nível da recolha de informação, uma vez que, os meios ao nosso dispor são cada vez mais precisos e eficazes, como por exemplo a utilização de *drones* ou lasers de varredura. A criação de um sistema que auxilie a recolha de informação e otimize o tempo de elaboração dos croquis poderá trazer mais-valias em todo o processo de investigação.

Por outro lado, o conhecimento cada vez mais pormenorizado dos materiais que compõem os veículos, permite cada vez mais efetuar análises muito proveitosas ao nível das deformações das carroçarias, fundamentalmente quando do acidente não resultam evidências das marcas de pneus, devido aos sofisticados sistemas auxiliares de travagem ABS. Também no campo dos atropelamentos, a investigação direcionada para o estudo das lesões corporais acrescentará conhecimento e permitirá contribuir de forma decisiva para o entendimento da resistência do corpo humano ao impacto provocado pelos veículos. Conhecer qual a resistência do corpo humano à energia transmitida pelos automóveis poderá ser uma área de relevante interesse em estudos futuros.

7 BIBLIOGRAFIA

- Abou-Raya, S., & ElMeguid, L. A. (2009, September). Road traffic accidents and the elderly. *Geriatrics & Gerontology International*. doi:10.1111/j.1447-0594.2009.00535.x
- AIPCR/PIARC. (n.d.). Abordagem integrada à segurança de túneis rodoviários. *Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias*.
- Ansr. (2013). Anuário de Segurança Rodoviária 2013.
- Anthikkat, A. P., Page, A., & Barker, R. (2013). Low-speed vehicle run over fatalities in Australian children aged 0-5 years. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 49(5), 388–93. doi:10.1111/jpc.12188
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In J. Kuhl & J. Beckman (Eds.), *Action-control: From cognition to behavior* (pp. 11- 39). Heidelberg, Germany: Springer.
- Belin, M.-Å., Tillgren, P., & Vedung, E. (2012). Vision Zero--a road safety policy innovation. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 19(2), 171–9. doi:10.1080/17457300.2011.635213
- Biermann, A., Eick, E.M., Brünken, R., Debus, G., & Leutner, D. (2005). Development and evaluation of a prediction model for risk of offences and accident involvement among young drivers. In: L. Dorn (Ed.), *Driver Behaviour and Training*. Vol II. (169-178). Aldershot, Hampshire: Ashgate.
- Blaizot, S., Papon, F., Haddak, M. M., & Amoros, E. (2013). Injury incidence rates of cyclists compared to pedestrians, car occupants and powered two-wheeler riders, using a medical registry and mobility data, Rhône County, France. *Accident; Analysis and Prevention*, 58, 35–45. doi:10.1016/j.aap.2013.04.018
- Campo, P. H., & Lagares, R. (2000). The « traffic » and « driving » social representations. 5^{ème} Conférence Internationale sur les Représentations Sociales/Fifth International Conference on Social Representations, Montréal (Comunicação).Internet :http://geirso.uqam.ca/publications/pdf/Section3/Cond_roles_soc/campos.pdf
- Car crash e s r impact speed and a Pedestrian risk forever I njury or health. (pag.20.).
- Carter, E. L., & Neal-Sturgess, C. E. (2009). MADYMO Reconstruction of a Real-World Collision between a Vehicle and Cyclist. *International Journal of Crashworthiness*, 14(4), 379–390. doi:10.1080/13588260902823999
- Dandona, R., Kumar, G. a, Raj, T. S., & Dandona, L. (2006). Patterns of road traffic injuries in a vulnerable population in Hyderabad, India. *Injury Prevention : Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 12(3), 183–8. doi:10.1136/ip.2005.010728
- Depriester, J.-P., Perrin, C., Serre, T., & Chalandon, S. (2005). Comparison of Several Methods for Real Pedestrian Accident Reconstruction. *Enhanced Safety Vehicle (ESV)*, 1–14.
- Elkind, D. (1967). Egocentrism in adolescence. *Child Development*, 38, 1025-1034.
- Estratégia nacional de segurança rodoviária 2008 – 2015. (2015).
- Europeia, C. (2014). Pt Pt, 1–18.
- Forma, F. I. C., & Comum, I. (n.d.). MANUAL.
- Franck, H., & Franck, D. (2000). *Mathematical Methods for Accident Reconstruction*.
- Gobbi, M., Mastinu, G., & Previati, G. (2013). The effect of mass properties on road accident

- reconstruction. *International Journal of Crashworthiness*, 19(1), 71–88. doi:10.1080/13588265.2013.853965
- Hefny, A. F., Eid, H. O., & Abu-Zidan, F. M. (2014, April 10). Pedestrian injuries in the United Arab Emirates. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. doi:10.1080/17457300.2014.884143
- Hitosugi, M., Kawato, H., Gomei, S., Mizuno, K., & Tokudome, S. (2013, October). Severity of child pedestrian injuries due to bonnet-type-vehicle collision. *Pediatrics International : Official Journal of the Japan Pediatric Society*. doi:10.1111/ped.12140
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955). De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent. Paris: Presses Universitaires de France.
- Lima, M. L. (2004). Percepção de riscos ambientais. In L. Soczka (Org.), Contextos humanos e psicologia ambiental (pp. 203-245). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Kaimila, B., Yamashina, H., Arai, A., & Tamashiro, H. (2013). Road traffic crashes and fatalities in Japan 2000-2010 with special reference to the elderly road user. *Traffic Injury Prevention*, 14(8), 777–81. doi:10.1080/15389588.2013.774085
- Kawato, H., Hitosugi, M., Mizuno, K., Matsui, Y., & Tokudome, S. (2013, July). Analysis of child-vehicle collision injuries by vehicle type. *Journal of Pediatric Surgery*, pp. 1588–92. Elsevier Inc. doi:10.1016/j.jpedsurg.2011.09.039
- Lacey, J. H. (1982). Accident reconstruction. *Accident Analysis & Prevention*, 14(6), 485–486. doi:10.1016/0001-4575(82)90062-8
- Lafont, S., Amoros, E., Gadegbeku, B., Chiron, M., & Laumon, B. (2008). The impact of driver age on lost life years for other road users in France: A population based study of crash-involved road users. *Accident; Analysis and Prevention*, 40(1), 289–94. doi:10.1016/j.aap.2007.05.010
- Lafont, S., Laumon, B., Helmer, C., Dartigues, J.-F., & Fabrigoule, C. (2008). Driving Cessation and Self-Reported Car Crashes in Older Drivers: The Impact of Cognitive Impairment and Dementia in a Population-Based Study. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 21(3), 171–182. doi:10.1177/0891988708316861
- Li, G., Brady, J. E., & Chen, Q. (2013). Drug use and fatal motor vehicle crashes: A case-control study. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 205–210. doi:10.1016/j.aap.2013.09.001
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). *No Title No Title. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015* (Vol. 1). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Move, O. N. T. H. E. (2011). Rumo a um espaço europeu de segurança rodoviária.
- Ndice, Í., Da, C., & Interna, S. (2015). Relatório Anual de Segurança Interna 30 de março de 2015.
- PEREIRA, M. E. B. R. (2013). Comportamento Na Condução: a Sua Relação Com Os Estilos Educativos Parentais E a Personalidade Em Jovens Condutores, 96.
- Pimentão, C. (2008). Análise Do Comportamento De Risco Ao Volante De Jovens Condutores Com Base Na Teoria Do Comportamento Planeado De Ajzen, 204–217. Retrieved from <http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/911/1/202-217.pdf>
- Ricardo, G. N. R., & Lopes, F. (2014). ACADEMIA MILITAR A investigação de crimes em acidentes rodoviários : a.
- Simms, C. K., Walsh, D. G., & Wood, D. P. (2004). Confidence limits for impact speed estimation from pedestrian projection distance. *International Journal of Crashworthiness*, 9(2), 219–228. doi:10.1533/ijcr.2004.0283
- Sokolovskij, E., & Prentkovskis, O. (2013). Investigating traffic accidents: the interaction between

- a motor vehicle and a pedestrian. *Transport*, 28(January 2015), 302–312. doi:10.3846/16484142.2013.831771
- Su, S., Liu, W., Li, K., Yang, G., Feng, C., Ming, J., ... Yin, Z. (2016). Developing an unmanned aerial vehicle-based rapid mapping system for traffic accident investigation, 48(4), 454–468. doi:10.1080/00450618.2015.1073787
- Supporting a decade of action. (2013).
- Tobergte, D. R., & Curtis, S. (2013). No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Tőro, K., Hubay, M., Sótonyi, P., & Keller, E. (2005). Fatal traffic injuries among pedestrians, bicyclists and motor vehicle occupants. *Forensic Science International*, 151(2-3), 151–6. doi:10.1016/j.forsciint.2005.01.014
- Vangi, D. (2009). A fuzzy approach to reconstructing vehicle–pedestrian collisions. *Vehicle System Dynamics*, 47(9), 1115–1135. doi:10.1080/00423110802460689
- Weng, Y., Jin, X., Zhao, Z., & Zhang, X. (2010). Car-to-pedestrian collision reconstruction with injury as an evaluation index. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), 1320–1325. doi:10.1016/j.aap.2010.02.012
- Wong, T. W., Tao, C. H., Cheng, Y. K., Wong, K. H., & Tam, C. N. (2014). Application of cross-ratio in traffic accident reconstruction. *Forensic Science International*, 235, 19–23. doi:10.1016/j.forsciint.2013.11.012
- Wong, Z. H., Chong, C. K., Edin, F., Glas, F., Tai, B. C., Lau, G., & Path, D. M. J. (2004). A Review of Fatal Road Traffic Accidents in Singapore from 2000 to 2004, 594–599.
- Zhang, X., Jin, X., Qi, W., & Guo, Y. (2008). Vehicle crash accident reconstruction based on the analysis 3D deformation of the auto-body. *Advances in Engineering Software*, 39(6), 459–465. doi:10.1016/j.advengsoft.2007.05.002